



УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ” – ШТИП

ФАКУЛТЕТ ЗА ИНФОРМАТИКА

Катедра по информациски технологии

ГОЦЕ БОГАТИНОВ

Интелигентен систем за автоматизирано управување со пластеничко
производство

-МАГИСТЕРСКИ ТРУД-

Штип, декември 2016

Комисија за оценка и одбрана:

Претседател: проф. д-р Зоран Здравев
Факултет за информатика
Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип

Ментор: проф. д-р Сашо Коцески
Факултет за информатика
Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип

Член: проф. д-р Сашо Гелев
Електротехнички факултет
Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип

Научно поле: Информатика

Научна област: Информациски системи

Датум на одбрана: 05-12-2016 г.

Апстракт

Технологијата на безжичните сензорски мрежи овозможува предност во производството и сигурност за човекот преку разните индустриски апликации и примени. Примената на оваа технологија во сферата на земјоделството, која бара поголем човечки труд и напор во споредба со другите индустрии и недостатокот на ИТ апликации, додава вредност и овозможува зголемена продуктивност.

Целта на овој труд е да создаде активна околина и автоматизиран интелигентен систем преку употреба на безжични мрежи и сензори за напредно производство на земјоделски производи кои се одгледуваат во пластеници.

Понудениот систем има можност за собирање и мониторинг на податоци кои се поврзани со производството и околината на одгледување. Сензорската мрежа е поставена во внатрешниот пластенички дел, како и на надворешниот дел на средината за мерење на метеоролошките услови. Како додаток, системот врз база на добиените податоци може да овозможи автоматско или рачно управување на внатрешните услови преку далечина, со што се оптимизира продуктивноста на одгледувањето.

Клучни зборови: *безжична сензорска мрежа, земјоделство, пластеник, земјоделски продукти.*

Abstract

The technology of wireless sensor networks provides an advantage in production and safety for people through a variety of industrial applications and usages. The usage of this technology in the area of agriculture which requires more human labor and effort compared to other industries and the lack of IT applications add value and increase productivity.

The aim of this paper is to create an active environment and an automated intelligent system by using wireless networks and sensors for improved production of agricultural products grown in greenhouses.

The system offered has the capability of collecting and monitoring data related to the production and the environment of cultivation. Sensor network is set in the inner part of the greenhouse as well as on the outer part of the environment for measuring meteorological conditions. In addition, according to the received data, the system can enable remote automatic or manual management of internal conditions, which optimizes the productivity of farming.

Key words: *wireless sensor network, agriculture, greenhouse, agricultural products.*

Содржина

Вовед.....	6
Претходни истражувања.....	10
1. Анализа и моделирање на системот	25
1.1. Физички слој	26
1.2. Среден слој	27
1.3. Апликациски слој.....	28
2. Дизајн на сензорската и комуникациската мрежа	29
2.1. Дизајн на сензорска и комуникациска мрежа за внатрешната средина ..	29
2.1.1. Мерен јазол.....	30
2.1.2. Базна станица.....	47
2.1.3. Систем за следење на метеоролошки параметри.....	53
3. Дизајн на системот за автоматизација и контрола	56
3.1. Енергетски загуби.....	58
3.2. Влажност на воздухот и нејзина контрола.....	61
3.3. Систем за автоматизација и контрола.....	66
4. Креирање на база на податоци.....	69
5. Дизајн и имплементација на апликативна логика	78
6. Евалуација на системот	84
7. Заклучок	88
8. Референци.....	89

Вовед

Терминот безжична сензорска мрежа (БСМ) се однесува на широко употребувана технологија за надгледување и контрола, каде што сензорските јазли се опремени со сметачки и безжични комуникациски можности (Iap, F.A., 2002; Chong C. Y, 2003). Јазлите се поставени во различни апликациски околинис формирајќи мрежа која собира и дистрибуира информации добиени од сензорите преку радиоврска.

Оваа технологија е важна бидејќи служи за реализација на таканаречен сеприсутен систем (систем кој нуди податоци кои се достапни на различни начини), кој може да се аплицира во различни индустрии, како што се дистрибутивните мрежи, логистика, транспорт, градежништво, медицина, државна одбрана. Аплицирањето ќе обезбеди напредок во продуктивноста, сигурноста и подобрување на стандардот.

Развојот на сензорските мрежи бара технологии од три различни истражувачки области: сензорска, комуникациска и компјутерска (хардвер, софтвер и алгоритми). Во комбинација овие три области овозможуваат создавање на мрежи во различни технолошки сфери, како што се радарските системи, системите за контрола на сообраќај, системи за контрола на параметри на околината и сл. (Silicon Laboratories - evolution of WSN, 2013)

Како и многу други технологии, овие мрежи го почнуваат својот развој уште од времето на ладната војна. Во овој период се појавила потребата да се развијат разни стратешки системи за детекција и следење на подморници, летала, геолошки и метеоролошки промени при нуклеарни проби и сл. Дел од овие сензорски мрежи ги сочинувале разни аеростати опремени со разни акустични, температурни и други типови на сензори. Во тоа време се развија и комуникациски уреди модеми со задоволувачки брзина на пренос, како и процесори кои можеа да обработуваат брзо поголема количина на податоци.

Модерниот развој на сензорните мрежи започна околу осумдесеттите години од минатиот век со програмата DSN (Distributed Sensor Networks) на Агенцијата за национална одбрана DARPA. Во тоа време Arpanet мрежата (претходник на денешниот интернет) веќе беше активна со околу 200 активни

сметачи лоцирани по универзитетите и истражувачките институции. Целта беше да се создаде сигурна комуникациска сензорска мрежа која ќе биде автономна со можност за рутирање на потребните информации.

Со појавата на овие мрежи бргу се дојде до идеја овие технологии да се употребат во разни сфери, како на пример во индустријата или во земјоделството, каде што е потребно следење на параметрите на средината и на почвата, како и нивно контролирање во затворени површини. Нивната имплементација во почетокот не беше евтина поради високата цена на сензорните и процесирачките технологии.

Временската линија на појава и развој на сензорските мрежи е следна (Silicon Laboratories - evolution of WSN, 2013):

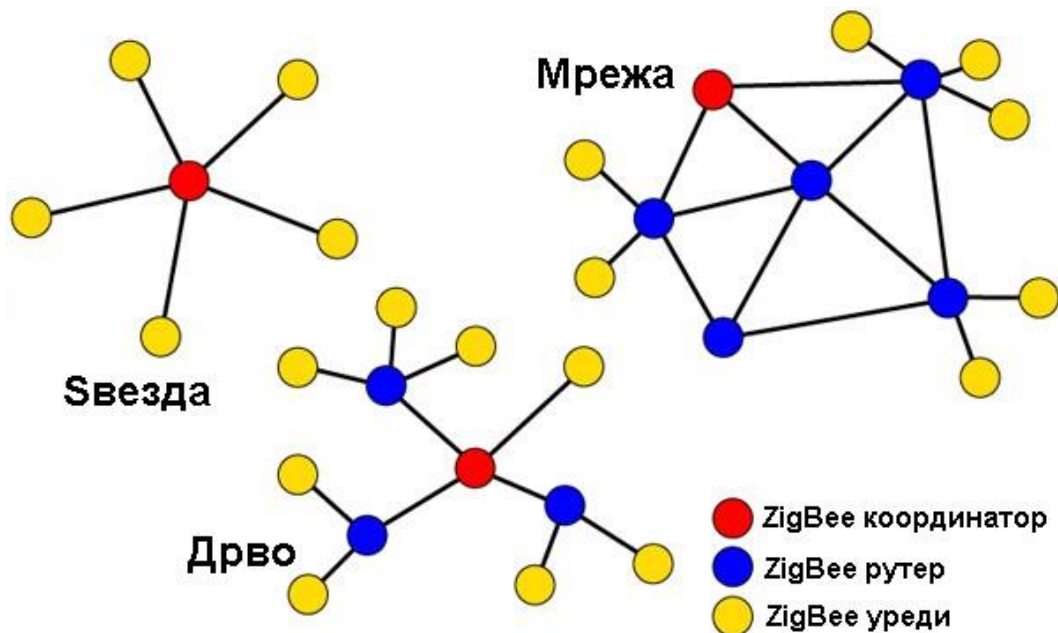
- 1970: Појава на жичени сензорски мрежи поврзани на централна локација;
- 1980: Појава на дистрибуирани жичени сензорски мрежи;
- 1993: LWIM проект на UCLA за развој на интегрирани мрежи и сензори со ниска потрошувачка на енергија и голема густина;
- 2003-2004: Појава на IEEE 802.15.4 стандард и ZigBee алијанса.

Појавата на ZigBee комуникацискиот протокол и уреди кои го поддржуваат истиот придонесе за брз развој на апликации и системи за следење и контрола на раст на култури во пластеници. Целта на употребата на оваа технологија е, пред сè, зголемување на продуктивноста со оптимизирање и намалување на целокупните трошоци (трошоци за ѓубрива, трошоци за осветлување, трошоци за користење на енергија за одржување на температурата и влажноста, трошоци за наводнување и сл.), како и управување на далечина.

Исто така, големото вложување на повеќе компании и агенции во развојот на разни типови сензори (микроелектромеханички, CMOS, LED), следната генерација на микроконтролери и намалувањето на нивната цена придонесе во сè поголемата употреба на БСМ.

БСМ користат неколку топологии на поврзување на јазлите и тоа:

- Свезда топологија, каде што крајните уреди безжично се прикачуваат директно на координаторот кој ја има највисоката функција во топологијата чувајќи податоци за поврзување и сигурносни клучеви, кој исто така може да се поврзува на други мрежи (bridge);
- Дрво топологија, крајните уреди се поврзуваат на точка (рутер) која се понесува како среден слој во целата комуникација, додека пак таа точка понатаму се поврзува со координаторот на мрежата;
- Мрежа топологија, каде што рутерите се поврзуваат меѓусебно и се управувани од координаторот. Овој тип на мрежа е најдобар во случај за потреба на експанзија на БСМ.



Слика 1. Топологии на БСМ

Figure 1. WSN topology

Како и секоја технологија, безжичните мрежи имаат свои предности и недостатоци. Како предност може да се набројат:

- избегнато поврзување со кабли;
- лесна експанзија и проширување;
- флексибилност и лесно преоѓање преку физички пречки;
- пристап и контрола преку централна единица или монитор.

Како недостатоци ќе ги наброиме:

- лесно попречување на комуникацијата преку недозволен упад од лица поради неможност за контрола на пропагација или ширење на радиобрановите;
- пониски брзини на комуникација во споредба со брзини преку жичена врска;
- фреквенциско попречување од други безжични уреди кои работат на иста бранова должина како Bluetooth, микробранови печки и сл.

Земјоделието бара поголем човечки напор и труд за разлика од другите индустрии и доколку се имплементира технологија на БСМ во оваа област (која стандардно е со недостаток на информатички технологии) тоа веднаш додава нова вредност и зголемена продуктивност (Lee, M.-H 2009). Неодамна се спроведени истражувања за употребата на БСМ во заштитени околии, на пример пластениците во некои развиени земји и региони, како што се САД и Европа. Тие веќе имаат создадено прецизен мониторинг систем во областа на култивацијата, продукцискиот менаџмент и дистрибуција со цел унапредување на земјоделското одгледување на култури и нивно транспарентно доставување. Дополнително се спроведени експерименти во земјоделството со употреба на современи технологии во областа на хортикултурата во Холандија и во Јапонија. Во споредба со нив во Македонија недостасуваат истражувања каде што се интегрираат информатички технологии со земјоделието, како и развој на алатки за собирање на информации поврзани со одгледувањето, нивна анализа и мониторинг. Поради тоа крајниот резултат на трошоците во земјоделието е поголем и неоптимизиран, а производството е помало во споредба со споменатите поразвиени земји. За да ги подобриме квалитетот и квантитетот, потребен е систем кој во реално време ќе ги следи и контролира условите на одгледување во пластениците. Како поставено барање во овој труд ќе се дизајнира контролен систем кој ќе ги има бараните можности со употреба на БСМ и кој ќе овозможува квалитетна култивација и прецизна одгледувачка околина.

Претходни истражувања

Досега во повеќе земји се развиваа и тестираа дистрибуирани системи за собирање на податоци, контрола и управување на пластеници. Притоа се употребуваа разни комуникациски технологии во процесот на прибирање на податоци и во процесот на контролата. Овие технологии имаат различни карактеристики, недостатоци и предности.

Изборот на вистинската технологија е важен чекор во дизајнот на нашиот систем. Од него ќе зависи правилната работа на сензорската мрежа и крајниот резултат на управувањето во пластениците. Истражувањето на претходно тестирани системи со слична улога ќе придонесе за прибирање на важни информации за тоа во кој правец да го започнеме нашето истражување и дизајнирање.

Една од технологиите за безжична комуникација е безжичната радиомрежа со слободна комуникациска фреквенција на сензорните јазли од 433.92 MHz поставени во пластеници. Поставената контролна мрежа обезбедува константна UHF телеметриска врска со јазлите, а воедно и со централен компјутер на различна фреквенција од 458 MHz. Централниот компјутер за понатамошно предавање на податоци користи жичен тип на комуникација која се базира на брза Ethernet врска со оддалечена локација (Serodio *et al*).

Друг приод е користење на технологија за предавање на податоци преку Bluetooth радиоврска на 2.4 GHz. Приодот користи повеќе мерни станици кои се напојуваат преку соларни панели поврзани во мрежа и формираат систем за собирање на податоци, како од внатрешната така и од надворешната околина. Предавањето на измерените податоци е преку формирање на RF Bluetooth линк од секоја станица кон базна станица која воедно служи и за контрола на мерните станици и понатамошно предавање кон централен контролен систем кој врши складирање и обработка (Morais *et al*).

При истражувањето како најинтересна и најкомпатибилна комуникациска технологија којашто се користи во поголем дел од системите

што ги разгледаваме е комуникацијата на 2.4 GHz преку користење на ZigBee стандардот.

Мрежната топологија на системите кои ја користат оваа технологија може да биде во вид на ѕвезда во внатрешната средина, а додека на просторот во кој функционира комуникацијата помеѓу базните станици и софтверот за менаџмент е во вид на мрежа (Zhou *et al.*)

Во овој труд дизајнот на нашата комуникација ќе го базираме токму на оваа ZigBee комуникациска технологија и понатаму ќе бидат подетално и етапно опишани работата и развојот на нашиот мерно-контролен систем.

Меѓутоа, како што гледаме, технологиите за комуникација што овозможуваат формирање на сензорски мрежи веќе постојат. Со употреба и комбинација на истите преку употреба на сензорски мрежи неколку универзитети во светот имаат направено обиди да создадат свои системи за мониторинг и контрола на растење култури во пластеници.

Доколку ја земеме пиперката како ценет хортикултурен продукт кој е погоден и исплатлив за одгледување. Количеството на производство на пиперката варира и зависи од квалитетот и количеството на дневното осветлување (број на часови со осветлување). Цената на одгледување е поврзана со трошоците на загревање, земјоделските материјали и работната рака. Трошоците за конвенционалното загревање и за земјоделските материјали можат да бидат доста големи што предизвикуваат тешкотии кај одгледувачите на оваа култура.

Системот со изворно име „Paprika greenhouse system“ (Sunchon National University, International Journal of Smart Home, 2010) овозможува прецизен менаџмент во реално време при одгледување преку собирање на информации од околината на одгледување во пластениците и ќе врши контрола и регулација на средината врз база на собраните податоци. Овој систем ги намалува отстапувањата при одгледувањето на културата (појава на разни девијации во крајниот производ), како и крајните трошоци потребни за целосна продукција од почеток до крај.

Оптимизацијата на целиот произведен процес се прави со помош на собрани биометриски податоци и создавање на оптимални услови за растење и развој на коренот. Системот го оптимизира управувањето со продукциските елементи, а со тоа обезбедува штедење на енергија, ѓубрива и вода. Управувањето на вештачките извори на светлина, исто така, обезбедува поволна континуирана одгледувачка околина која овозможува непрекинато снабдување со зеленчукови култури кон крајните корисници.

Одгледувачите, пак, од друга страна, ќе имаат поголема добивка преку зголеменото производство и квалитет на производите, како и од намалените целокупни трошоци.

Системот е дизајниран како мрежа од безжични сензори кои собираат потребни податоци за одгледување во реално време. Поголем дел од безжичните сензорни јазли имаат свои карактеристики и бараат некој тип на конверзија на измерениот сигнал. За да го решат овој проблем инженерите употребиле интегриран сензорски модул на кој може да се закачат различни типови на сензори кои ќе ги собираат потребните податоци во реално време за култивација во единечен модул. Овие модули, како и мрежниот мониторинг систем, се развиени со помош на технологија која се наоѓа на пазарот. Системот е поставен во околина за тестирање со цел да се проучат неговите перформанси.

Една од можностите на овој интегриран пластенички систем е следењето на состојбата и управување преку интернет мрежата. Со оваа можност за далечинско управување им се овозможува на корисниците да ги управуваат своите фарми без ограничување на простор и време сè додека постои стабилна интернет врска.

Сензорската мрежа мери разни параметри на животната средина, како:

- CO₂ (јаглероден диоксид);
- температура;
- влага;
- присуство на амонијак;
- надворешна брзина на ветер.

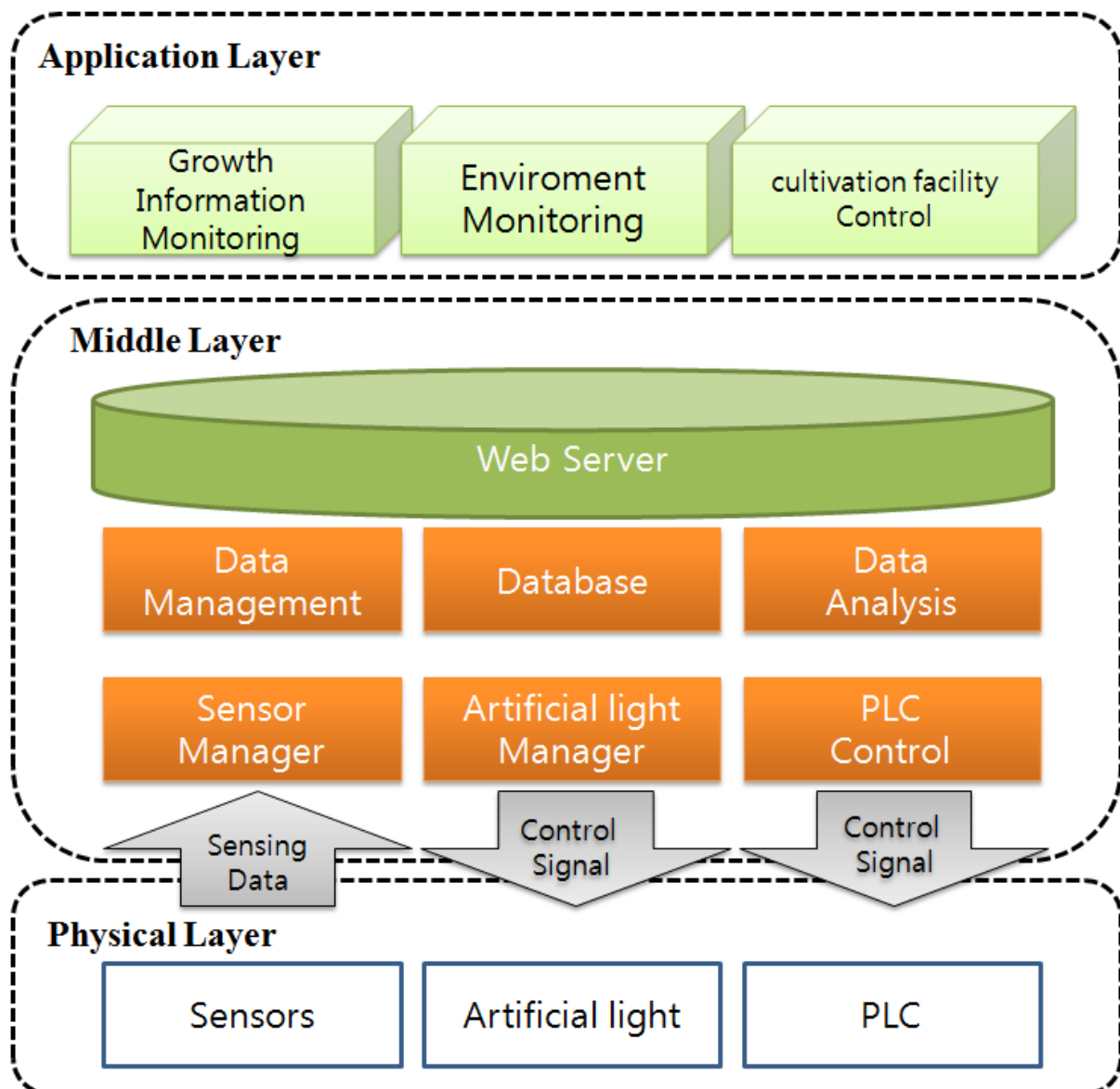
Додека пак управувачката логика работи со:

- вентилациски систем;
- систем за греење;
- осветлување;
- систем за влажнење на воздухот.

Во зависност од измерените услови логиката за управување дејствува на соодветен начин и врши приспособување на средината.

Како додаток на гореопишаното, поставен е и видеомониторинг (CCTV), GPS систем и соларни ќелии за снабдување со електрична енергија во сончеви денови и како секундарен извор при краткотрајни прекини на електрична енергија.

Блок-шемата и поврзаноста на овој систем се дадени на следната слика.



Слика 2. Шема на системот за одгледување

Figure 2. Growing system schematics

Како што се гледа, составен е од три слоја:

- среден слој;
- физички слој
- апликациски слој.

Видеонадзорот, GPS и соларните ќелии се како помошен четврти слој којшто не е вклучен во шемата и не придонесува во контролата на одгледувачката околина.

Целокупниот труд околу креирањето на Paprika greenhouse system на крај резултира со еден прецизен пластенички систем за одгледување на култури од пиперка преку мрежа од сензори кои вршат мерење на температурата, влажноста, светлината и сл. Системот врши контрола на вентилатори, навлажнувачи, светилки и видеопроектирање преку графичка апликација која врши анализа на измерените податоци. Целокупното искуство е дека ова придонесува во зголемено производство, квалитет, конкурентност, намалување на цената на производот, како и поголема заработка на одгледувачите, што е една од главните цели. Системот е приспособлив за одгледување и на други домашни земјоделски култури.

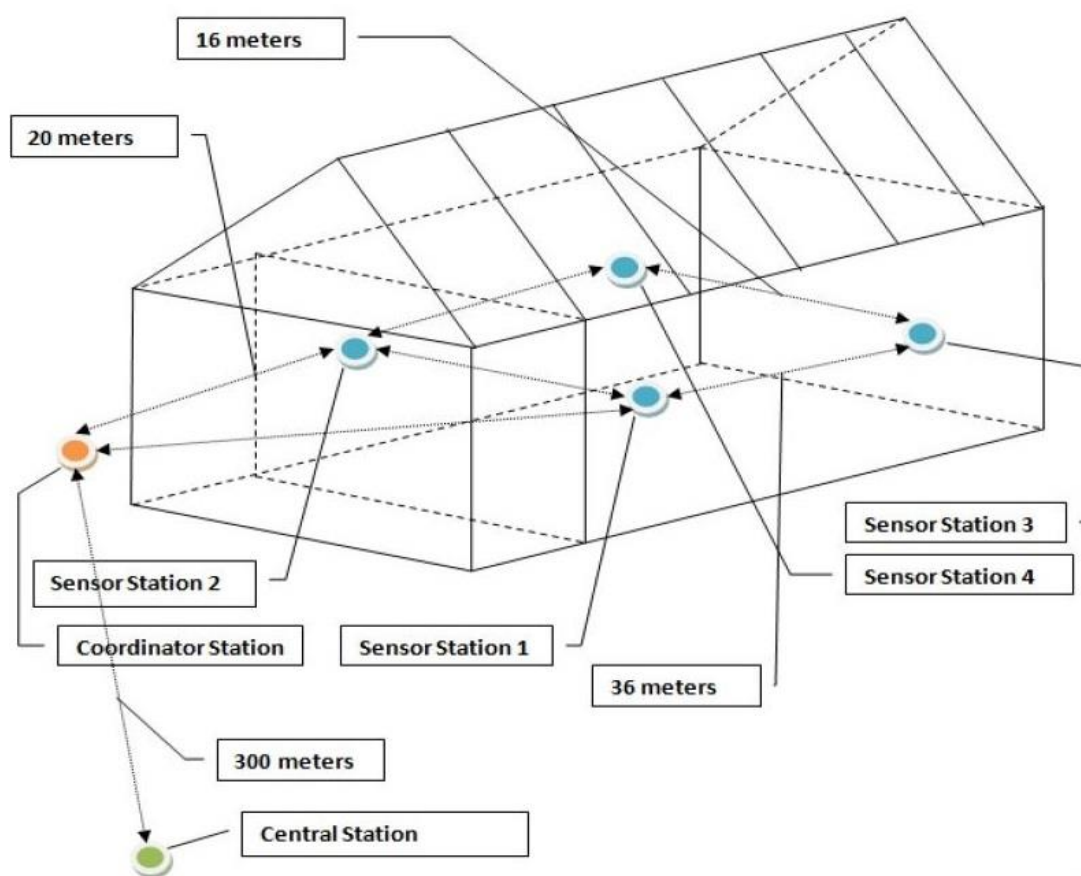
Еден друг пристап и експериментален систем кој се состои од три станици за пластеници е проект со изворно име Automated Wireless Greenhouse Management system (Massey University, 2011).

Се состои од:

- сензорска станица;
- станица за координирање;
- централна станица.

За да се овозможи подобар мониторинг на климатските услови во пластениците, сензорската станица е опремена со неколку сензорни елементи за мерење на јаглероден диоксид, температура, влага, светлина, влажност и температура на почвата. Комуникацијата помеѓу сензорската станица и станицата за координација е овозможена преку ZigBee безжични модули, додека пак комуникацијата помеѓу станицата за координирање и централната станица е постигната со RF модули за голема далечина.

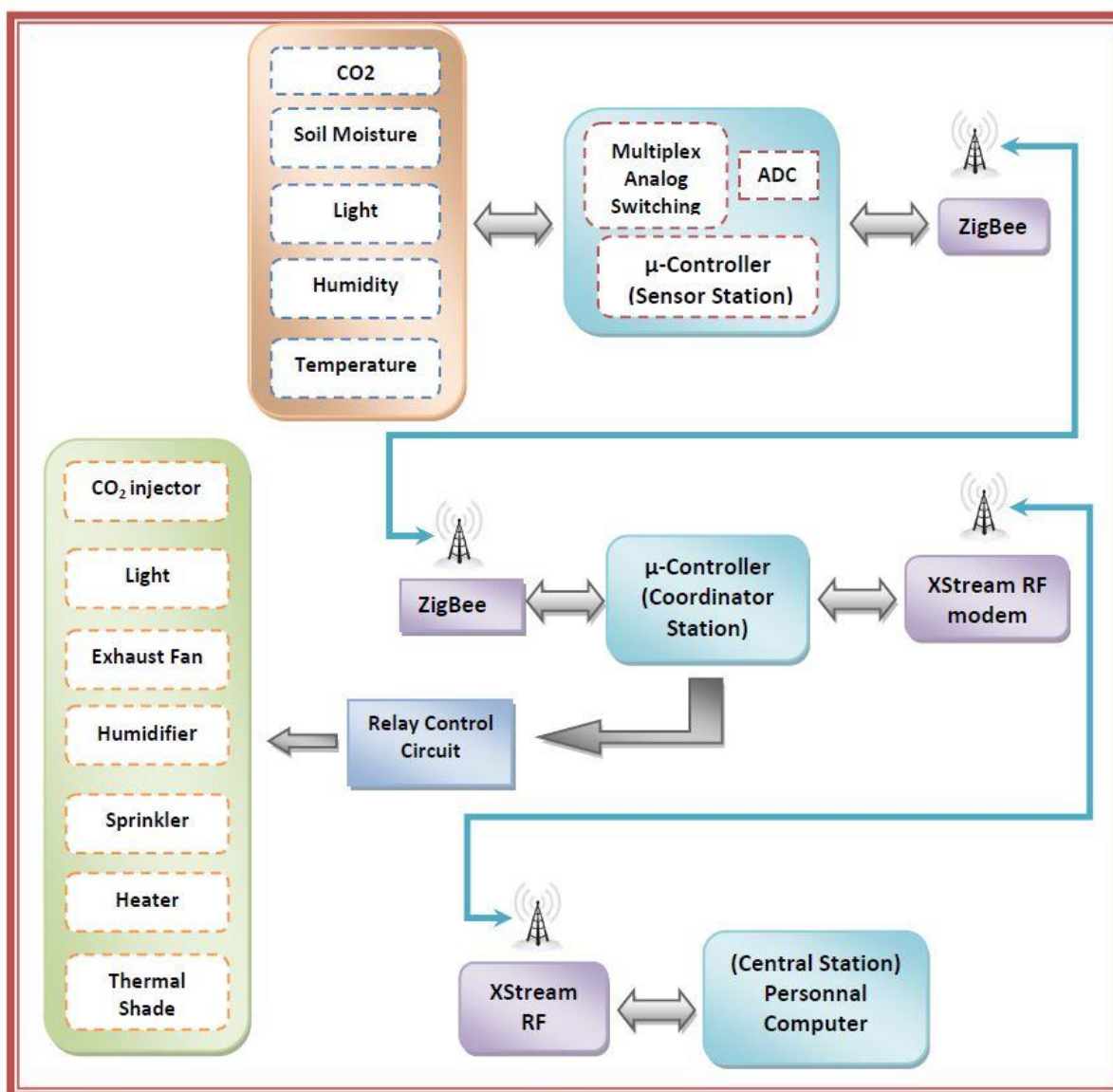
Важен аспект во дизајнот на секоја безжична мрежа е можноста и точноста во испраќањето на податоците. Поради тоа, при развојот на системот битно е да се обезбеди механизам којшто ќе спречува губење на пакетите. Во врска со ова е направен експеримент во кој се користени пластеници во сопственост на Plant and Food Research Ltd, Нов Зеланд, со цел да се пресметаат функционалноста и сигурноста на дизајнираните безжични ZigBee модули.



Слика 3. Експериментално подесување
Figure 3. Experimental setup

Резултатите од експериментот покажаа дека ZigBee модулите може со сигурност да се користат. Тие овозможуваат флексибилност и нудат мали трошоци за инсталација.

Архитектурата на целиот систем покажа предности во чинењето, големината, потрошувачката на енергија и флексибилноста за употреба во комерцијални цели.



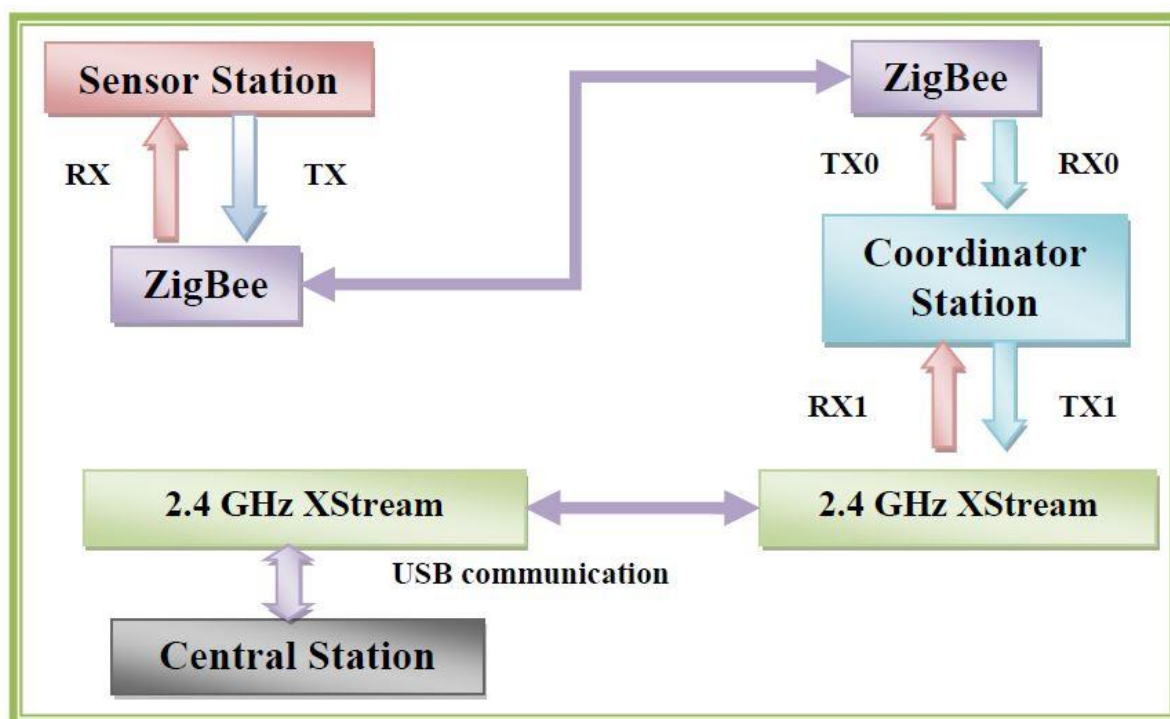
Слика 4. Блок-шема на системот
Figure 4. Block scheme of the system

Сензорската станица располага со:

- SHT75 сензор за температура и влага;
- NORP12 светлосен сензор;
- TGS4161 електрохемиски CO2 сензор;
- THERM200 температурен сензор за почва;
- VG400 сензор за влага на почва;
- XBee (ZigBee) безжичен модул;
- Напојување.

Координациската станица е составена од:

- C8051F020 еднопроцесорски компјутер кој врши брзо процесирање на податоците;
- напојување;
- XBee безжичен модул;
- 2.4 GHz XStream-PKG безжичен модем;
- релејна контролна плоча.



Слика 5. Блок-шема на координациската станица

Figure 5. Coordination station block scheme

Централната станица ја сочинуваат:

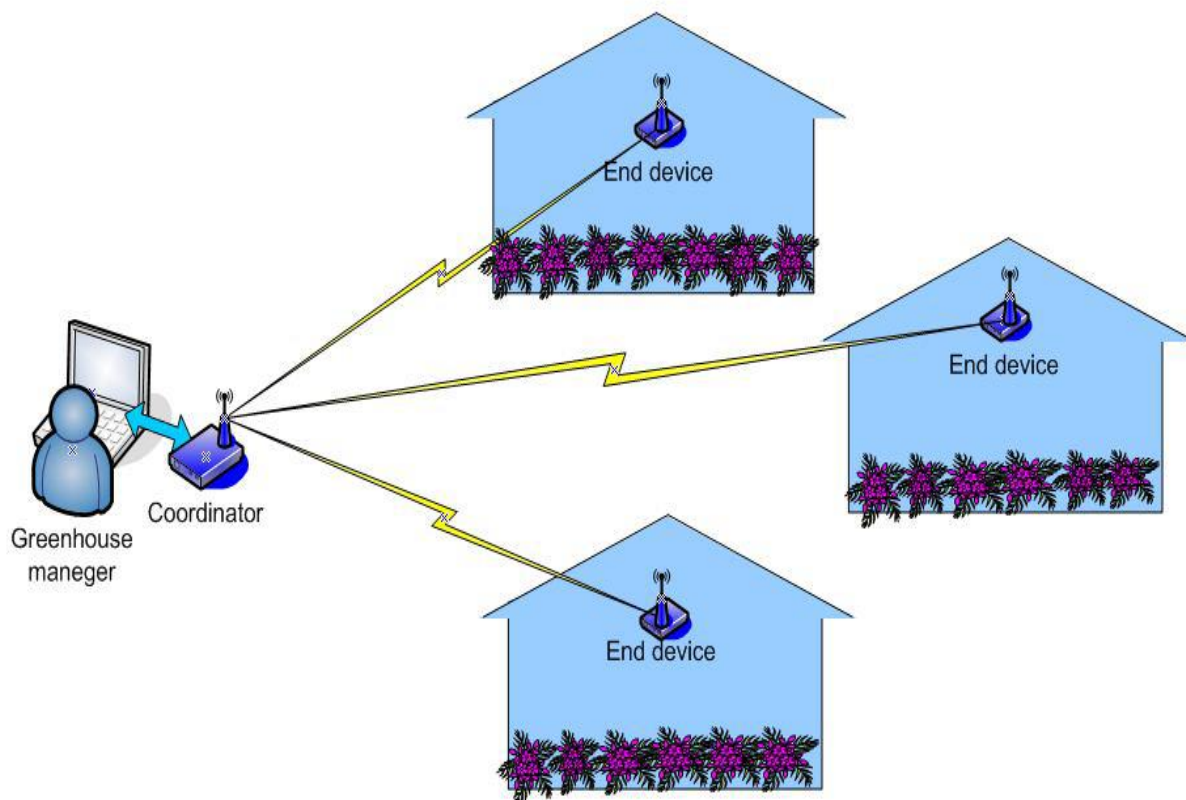
- персонален компјутер;
- 19200 baud 2.4 GHz XStream-PKG модем;
- USB кабел.

Опсежното тестирање на развојната околина од овој сложен систем покажува добри и очекувани резултати во собирањето и обработката на податоците за различни ботанички култури. Теренски се мерени шест климатски параметри, како што се амбиентална температура, релативна влажност, интензитет на светлина, количини на јаглероден диоксид, температура и влага на почва. Координациската станица вршела контрола на параметрите преку инсталираната опрема за ладење, греење, осветлување и наводнување со помош на централната станица. Работата на ZigBee модулите се покажала добра, но измерениот сигнал којшто се зрачел бил со малку послаб интензитет во споредба со оној интензитет кој бил добиен во лабораторија. Овој ефект е поради појавата на влага и јонизација од сончевата светлина во средината каде што се поставени.

На крај, овој проект е оставен да служи како референтен извор на понатамошни интеграции и развој на слични системи.

Во ова поглавје ќе ја споменеме и системската архитектура на проект за безжичен мониторинг и контрола на пластенички систем предложен од професори од Ирак (International Journal of Computer Science and Mobile Computing, University of Basrah, 2013).

Поставувањето на овој систем е дадено на следната слика.



Слика 6. Системска архитектура на безжичен мерен систем

Figure 6. System architecture of wireless measurement system

Предложениот систем е составен од два типа физички единици: три далечински сензорни јазли и централна станица.

Во далечинските сензорни јазли се имплементирани XBee радиомодули и аналогни сензори. Овие радиомодули користат ZigBee топологија која е конфигурирана директно да ги чита аналогните сигнали од сензорите и да ги испраќа како дигитални податочни пакети. Секој јазол има можност да ги чита температурата, влажноста и осветленоста во средината каде што е поставен. Измерените податоци понатаму периодично се испраќаат кон централен компјутер, кој исто така користи XBee радио уред кој е приклучен директно со USB конекција.

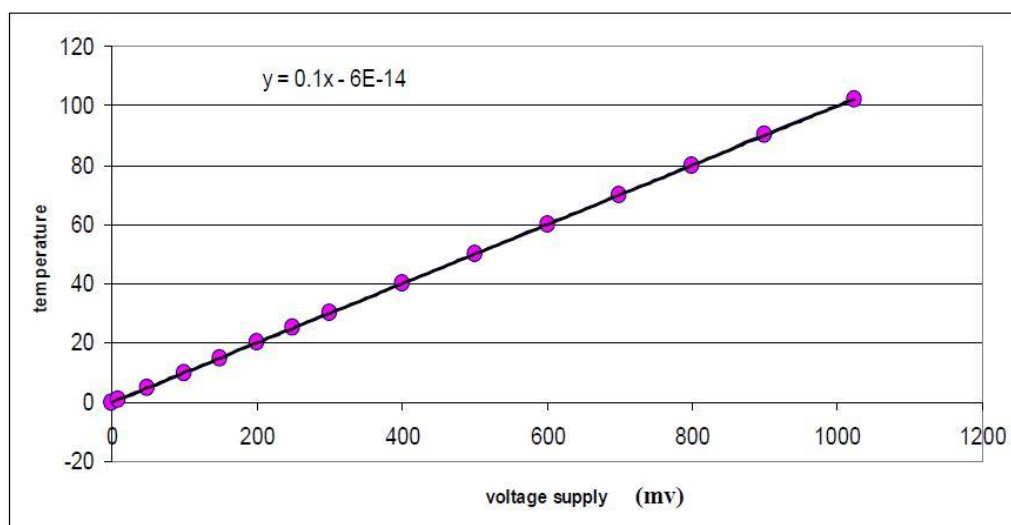


Слика 7. XBee модул
Figure 7. XBee module

Овој модул е погоден поради тоа што веќе има вграден аналого-дигитален конвертор за директно читање на аналогните вредности од сензорите. Следната релација се користи за конверзија на прочитаната A/D вредност во mV:

$$AD[mV] = \frac{(A/D \text{ reading} \cdot 1200mV)}{1024}$$

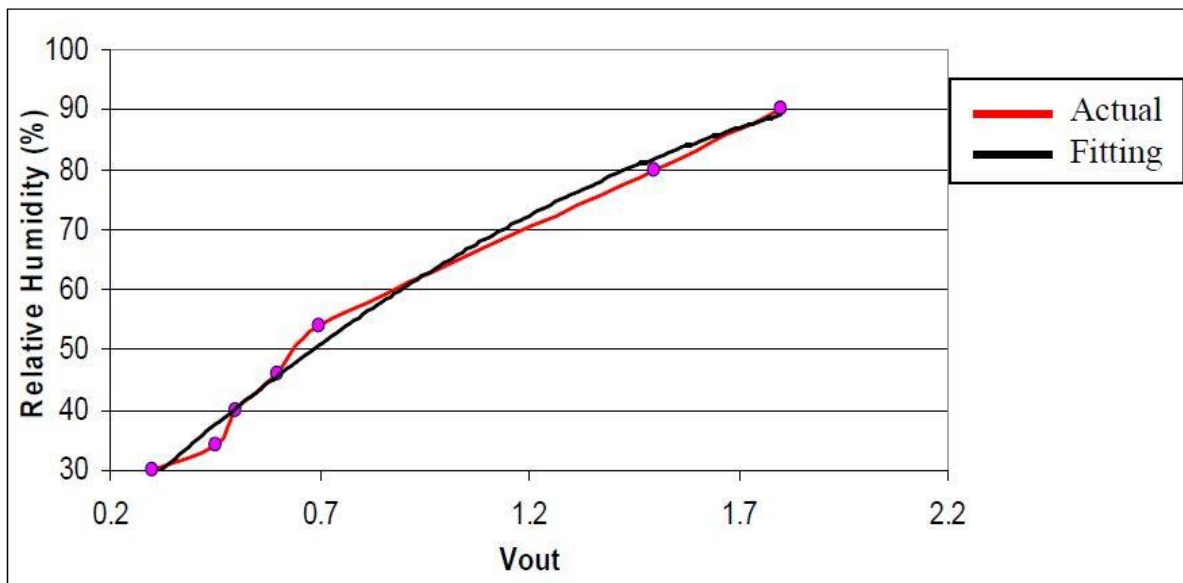
Температурните сензори LM35 кои се користат во овој труд се аналогни и се со линеарна зависност на излезниот напон од температурата.



Слика 8. Графикон на зависност t/V (температура / напон)
Figure 8. Dependence graph t/V (temperature / voltage)

Сензорот за влага е капацитивен со ознака АНТ2М1, прикачен е директно на ADC влез на XBee модулот преку напонски делител. Тоа е индустриски тип на сензор погоден за употреба во телеметриски метеоролошки апликации.

Промената на диелектричната константа кај овој сензор е исто така линеарна со промената на релативната влажност.



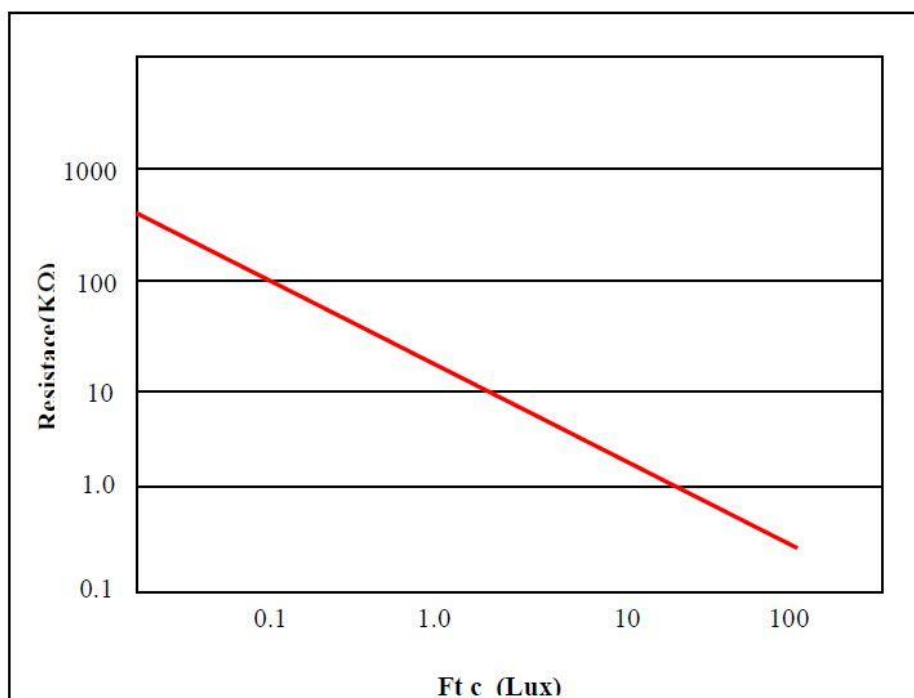
Слика 9. Графикон на зависност RH/V (релативна влажност / напон)

Figure 9. Dependence graph RH/V (relative humidity / voltage)

Светлинскиот сензор е отпорник со променлива отпорност во зависност од осветлувањето. Бидејќи неговата отпорност е исто така линеарно зависна од количеството на светлина, погоден е за употреба во вакви системи. Осветлувањето се пресметува преку следната релација:

$$R_L = \frac{V_{out} \cdot R}{V_{in} - V_{out}}, \quad R_L - \text{отпорност на сензор}$$

$$Lux = \frac{500}{R_L}, \quad Lux - \text{осветлување}$$



Слика 10. Графикон на зависност R/Ftc (отпорност / осветлување)

Figure 10. Dependence graph R/Ftc (resistance / lighting)

Системскиот софтвер за следење и управување со пластениците е креиран на Visual Studio .net платформата. Користи две форми и тоа:

- форма за избор на тип на растение и подесување на параметрите за одгледување;
- форма за следење и контрола на параметрите на средината.

Сите измерени вредности од сензорните јазли се запишуваат во база на податоци.

Дизајнот на овој систем е тестиран во експериментален пластеник со димензии: должина 50 cm, ширина 30 cm, височина 60 cm, како на слика 11. Од сликата се гледа дека условите се речиси идеални, а пластеникот е од помал размер.



Слика 11. Експериментален пластеник

Figure 11. Experimental greenhouse

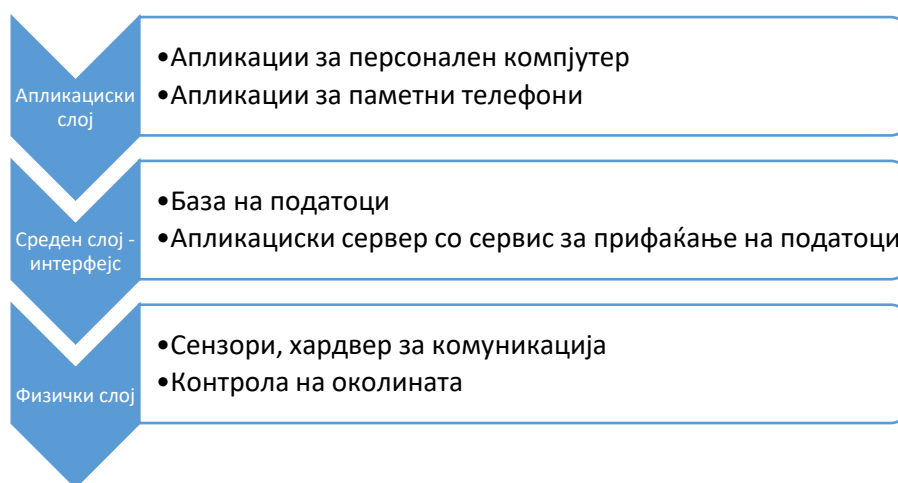
Иако овој проект е од помали размери, крајниот експеримент покажа дека системот е способен да собира аналогни информации за средината, успешно да ги дигитализира и испраќа кон централната единица која според одредена фази логика ги одржува бараните параметри за одгледување на растението во пластеникот. Употребата на XВее модулите дополнително ја намалува цената на системот и потрошувачката на електрична енергија, бидејќи се избегнува користењето на скапи процесирачки уреди. Собраните податоци се чуваат во база и дополнително подоцна можат да се обработуваат за разни потреби. Комплексноста за инсталација е исто така намалена со можност за приспособување на различни култури.

1. Анализа и моделирање на системот

Анализата ја започнуваме со прашањата:

- *Кои надворешни и внатрешни параметри ќе се мерат и управуваат?*
За почеток системот ќе има можност за мерење на внатрешната температура и релативна влажност на околината во пластениците, а надворешните мерења ќе ги врши автономен метеоролошки систем.
- *Временска рамка и испраќање на измерените податоци*
Временската рамка на прибирање и испраќање е варијабилна со можност за корисничко подесување.
- *Употреба на стандарди за комуникација*
Како сигурен, евтин и помалку сложен стандард од останатите, како што се Wi-Fi или Bluetooth што е базиран на спецификацијата IEEE 802.15.4 го избираме ZigBee стандардот за комуникација.
- *Скалабилност и адаптивност на системот*
Ќе ја има можноста за скалирање по потреба (додавање или отстранување на сензорни јазли и базни станици), како и можноста за адаптација на различни типови на индустриски околина.

Од анализата и од претходните истражувања доаѓаме до заклучок дека еден ваков управувачки систем за пластеници најдобро е да се состои од три слоја, како на слика 1.1. Овде треба да бидат вклучени физички слој, среден слој и апликациски слој.



Слика 1.1. Структура на управувачки систем

Figure 1.1. Structure of the management system

Физичкиот слој е составен од сензори, уреди за комуникација и контрола на околината. Средниот слој вклучува интерфејс за прифаќање на испратените податоци на одредено време и складирање на истите во база на податоци. Апликацискиот слој чита од базата на податоци и дава моментален или историски графички приказ на измерените вредности. Овој слој освен графичкиот приказ ќе врши анализа на податоците и ќе донесува самостојни одлуки за управување врз база на предефинирани фази логички правила и вредности. На овој начин се контролираат и оптимизираат атмосферските параметри во надгледуваната затворена средина.

1.1. Физички слој

Како што е спомнато, физичкиот слој е составен од сензори, уреди за комуникација и контрола на околината. Тие собираат информации за надворешната и внатрешната средина на целиот систем за одгледување.

Генерално, сензорите можат да се поделат на два дела:

- I. Сензори за мерење на параметрите на средината, температура, CO₂, релативна влажност, атмосферски струења и сл.;
- II. Сензори за следење на развојот на растенијата што ги мерат параметрите на температурата на листовите или на стеблата, висината, тежината, потоа волуменот и температурата на плодовите.

Моментално ќе бидат употребени сензори од првиот тип што ќе ги мерат основните параметри на внатрешната и надворешната средина, како што се температурата, релативната влажност на средината, правец и јачина на ветер, врнежи и точка на роса. Системот е скалабилен со можност за проширување на сензорската мрежа.

Контролата на околината ќе вклучува вентилација, греење, контрола на осветлување и влажност. Оваа контрола може да се изведе преку хардверска контролна логика која ќе користи некој стандард на комуникација (пр. Ethernet, Serial) со апликацискиот слој на системот. Ваквиот контролен систем е пракса и неизоставен дел кој овозможува штедење на енергија, контрола на битни пластенички фактори за раст, како што се CO₂, pH, осветлување и сл.

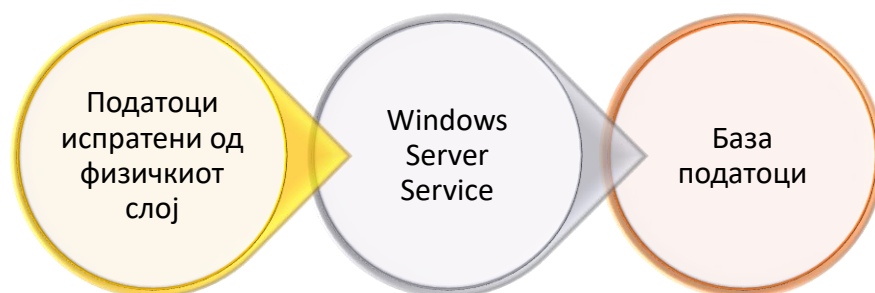
Изведбата на овој слој е можна со веќе постоечки поединечни технологии кои лесно се набавуваат.

1.2. Среден слој

Физичкиот слој ќе биде активен 24 часа, 7 дена во неделата и ќе испраќа податоци во одреден интервал од мерните точки. Овие податоци ќе се прифаќаат од средниот слој таканаречен интерфејс и ќе се складираат во кориснички дизајнирана база на податоци.

Пренесувањето на податоците ќе биде преку локална Ethernet IEEE 802.3 мрежа, а нивното прифаќање и складирање во базата ќе го прави автономен софтверски сервис. Софтверскиот сервис е издвоена компјутерска програма која не зависи од апликацискиот слој, работи во позадина на оперативниот систем и може да биде инсталиран на посебен компјутер. Сервисот се покренува автоматски со подигањето на оперативниот систем и не прави разлика дали домаќинскиот оперативен систем е покренат на хардверска или на виртуелна платформа.

Сервисот врши и форматирање (приспособување) на податоците во форма која е погодна за складирање во табелите на базата за податоци.



Слика 1.2.1. Концепт на логичка структура за тек на податоци

Figure 1.2.1. The concept of logical structure for data flow

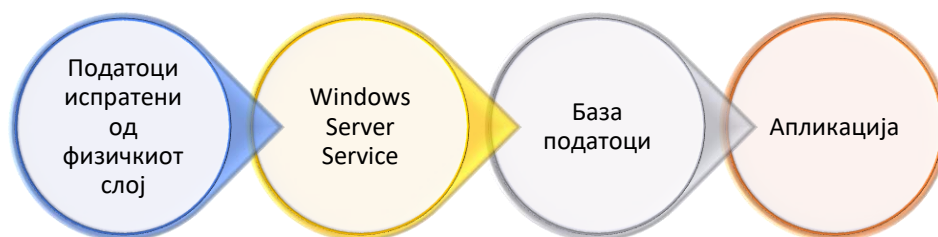
На слика 1.2.1. е претставен концепт за тек на измерените податоци од сензорската мрежа на физичкиот слој кои се испраќаат кон средниот слој (сервис и база).

Во различни делови од комуникацијата на деловите од структурата ќе се користат различни интернет протоколи. На пример, при испраќање на измерени податоци од внатрешната средина кон сервисот ќе се користи UDP / IP, додека пак автономниот сервис ќе ја остварува комуникацијата со базата на податоци преку TCP / IP интернет протоколот.

1.3. Апликациски слој

Овој слој е составен од апликација и дополнителни поврзани апликациски сервиси кои можат да поддржуваат различни платформи, како што се веб, таблет компјутери, паметни телефони и слично. Апликацискиот слој му овозможува на корисникот графички информации за мониторинг на внатрешната и надворешната околина, како и можност за управување со внатрешните услови на пластениците.

Константната поврзаност со базата на податоци дозволува во реално време да се обработуваат податоци за моментален или одреден период на време.

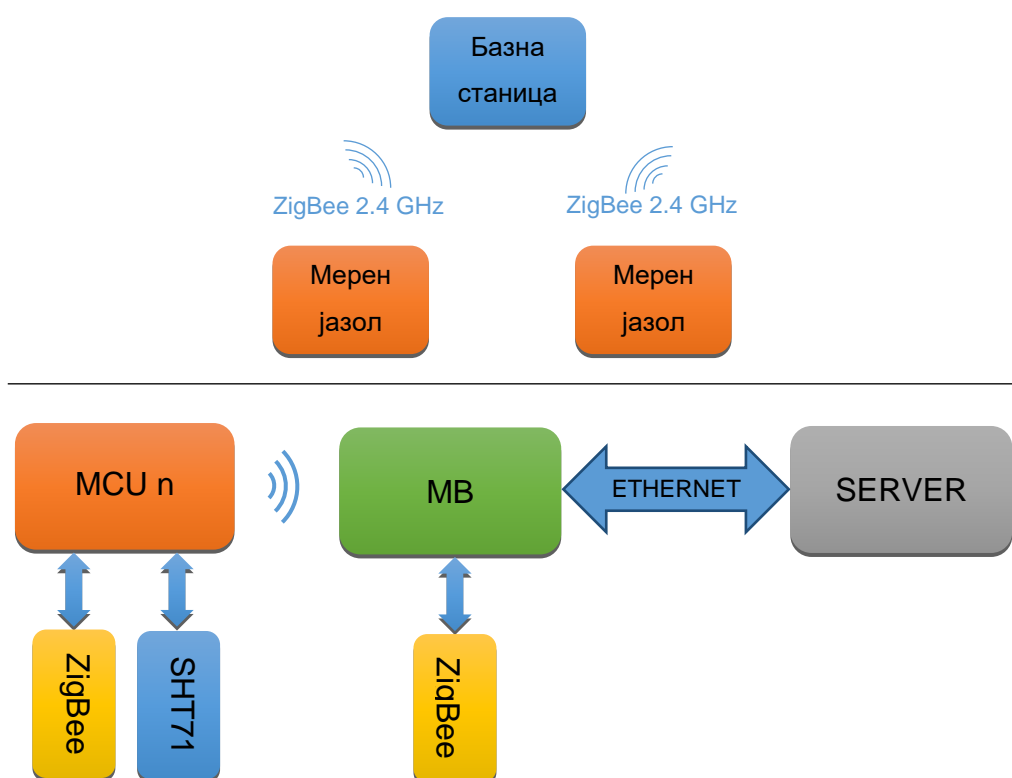


Слика 1.3.1. Финален концепт за логичка структура на системот
Figure 1.3.1. Final concept of the logical structure of the system

2. Дизајн на сензорската и комуникациската мрежа

2.1. Дизајн на сензорска и комуникациска мрежа за внатрешната средина

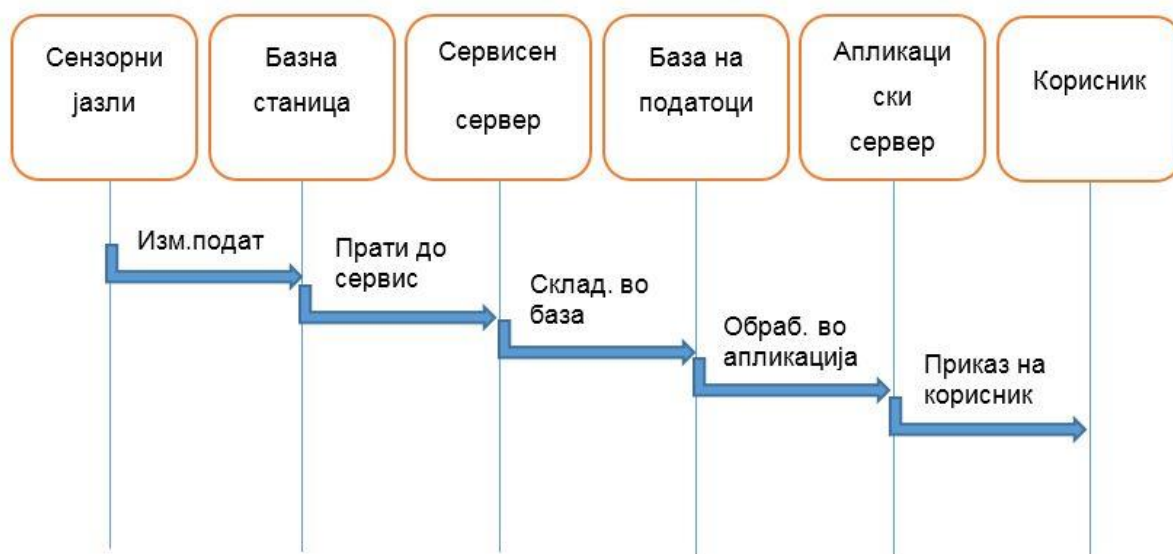
Информатичкиот систем за мерење и мониторинг на пластениците започнува од сензорска мрежа во пластениците. Овој систем, како што претходно рековме, овозможува мерење на внатрешни атмосферски параметри. Во нашиот случај тоа се температура и релативната влажност. Составен е од базна станица и два сензорни јазли.



Слика 2.1.1. Логички приказ на сензорска мрежа

Figure 2.1.1. Logical display of sensor network

Следната слика претставува тек на податоците од почеток до крај. На графичкиот приказ се забележува дека мерењето, испраќањето, складирањето и крајниот приказ е линеарен процес.



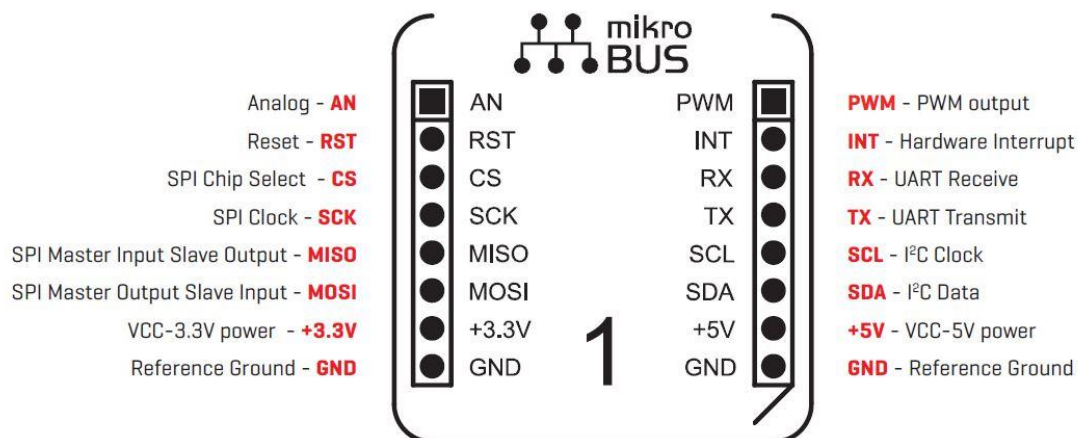
Слика 2.1.2. Графички приказ на мерен дијаграм
Figure 2.1.2. Graphic display of measurement diagram

2.1.1. Мерен јазол

Мерниот јазол е целина која обединува неколку сензори. Неговата улога е само мерење и безжично испраќање на податоци до базната станица.

Хардверските компоненти јазолот се микроконтролерска плоча, сензор за мерење на температура и релативна влажност, ZigBee примо-предавателна единица и напојувачки дел.

Микроконтролерската плоча е компактен кит за развој на апликации со поддршка на mikroBUS иновативно приклучно решение за различни типови на периферни уреди. MikroBUS е open standard, plug & play интерфејс кој овозможува брзо приклучување на периферните уреди со минимум подесувања и додатни хардверски елементи.



Слика 2.1.1.1. mikroBUS конектор

Figure 2.1.1.1. mikroBUS connector

Слика 2.1.1.1. го прикажува mikroBUS конекторот на кој се издвојуваат три групи на пинови:

- комуникациски SPI, UART, I²C;
- додатни PWM, Interrupt, Analog Input, Chip Select, reset;
- напонски 3.3V, 5V, GND.

Микроконтролерската плоча покрај mikroBUS конекторот е составена и од PIC18F47J53, 8-битен микроконтролер, две светлечки диоди, ресет копче, две копчиња за генерална употреба и еден USB MINI-B конектор. Плочата може да се напојува преку USB кабел или во нашиот случај преку посебен напојувачки адаптер кој обезбедува константен напон од 5V.

Microchip PIC18F47J53 е микроконтролер со високи перформанси, USB комуникациска поддршка и мала потрошувачка. Располага со флексибилна осцилаторска структура која му овозможува брза прецизна работа и доверливост. Претставува добар избор за апликации кои бараат високи перформанси со разумна цена.

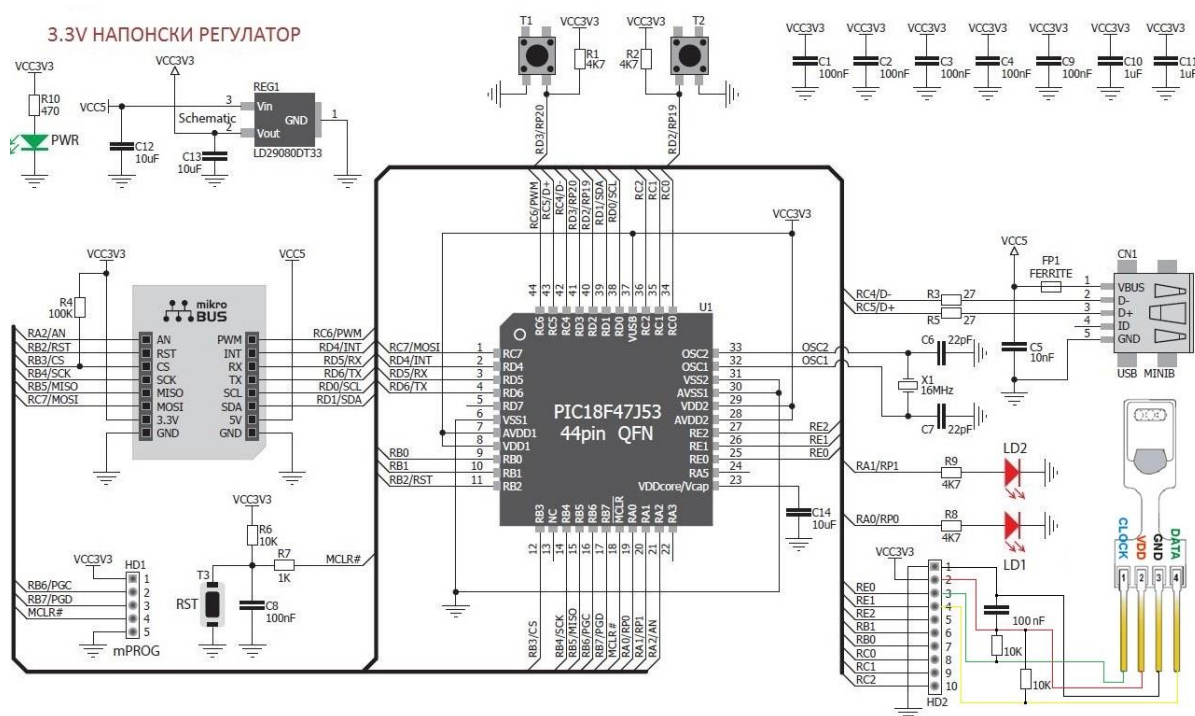
PIC18F47J53 FAMILY

PIC18F Device	Pins	Program Memory (bytes)	SRAM (bytes)	Remappable Pins	Timers 8/16-Bit	ECCP/(PWM)	EUSART	MSSP		10/12-Bit A/D (Ch)	Comparators	Deep Sleep	PMP/PSP	CTMU	RTCC	USB
								SPI w/DMA	I ² C™							
PIC18F26J53	28	64K	3.8K*	16	4/4	3/7	2	2	Y	Y	10	3	Y	N	Y	Y
PIC18F27J53	28	128K	3.8K*	16	4/4	3/7	2	2	Y	Y	10	3	Y	N	Y	Y
PIC18F46J53	44	64K	3.8K*	22	4/4	3/7	2	2	Y	Y	13	3	Y	Y	Y	Y
PIC18F47J53	44	128K	3.8K*	22	4/4	3/7	2	2	Y	Y	13	3	Y	Y	Y	Y
PIC18LF26J53	28	64K	3.8K*	16	4/4	3/7	2	2	Y	Y	10	3	N	N	Y	Y
PIC18LF27J53	28	128K	3.8K*	16	4/4	3/7	2	2	Y	Y	10	3	N	N	Y	Y
PIC18LF46J53	44	64K	3.8K*	22	4/4	3/7	2	2	Y	Y	13	3	N	Y	Y	Y
PIC18LF47J53	44	128K	3.8K*	22	4/4	3/7	2	2	Y	Y	13	3	N	Y	Y	Y

* Dual access RAM for USB and/or general purpose use.

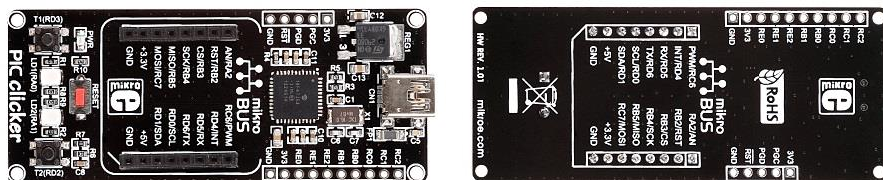
Слика 2.1.1.2. Технички карактеристики на PIC18F47J53

Figure 2.1.1.2. Technical characteristics of PIC18F47J53



Слика 2.1.1.3. Шематски приказ на микроконтролерска плоча (MCU) со сензор

Figure 2.1.1.3. Schematic display of MCU board with sensor

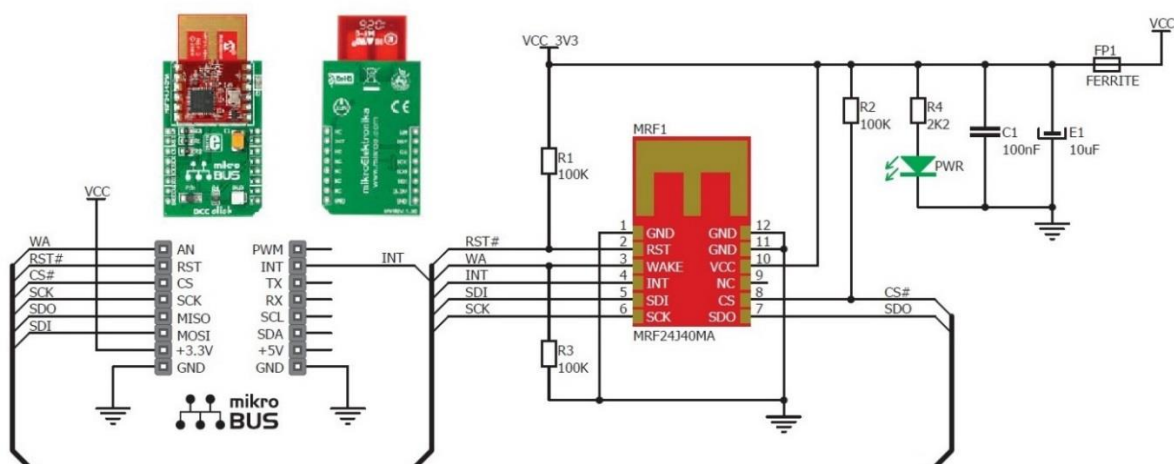


Слика 2.1.1.4. Хардверски приказ на микроконтролерска плоча (MCU)

Figure 2.1.1.4. Hardware display of MCU board

На сликите 2.1.1.2, 2.1.1.3 и 2.1.1.4 се дадени кратки технички карактеристики на микроконтролерот, шематското поврзување на целата микроконтролерска единица или плоча, како и физичкиот компактен изглед на уредот.

Компактниот примопредавателен уред или ZigBee модул го користи mikroBUS конекторот за да комуницира со микроконтролерската плоча.

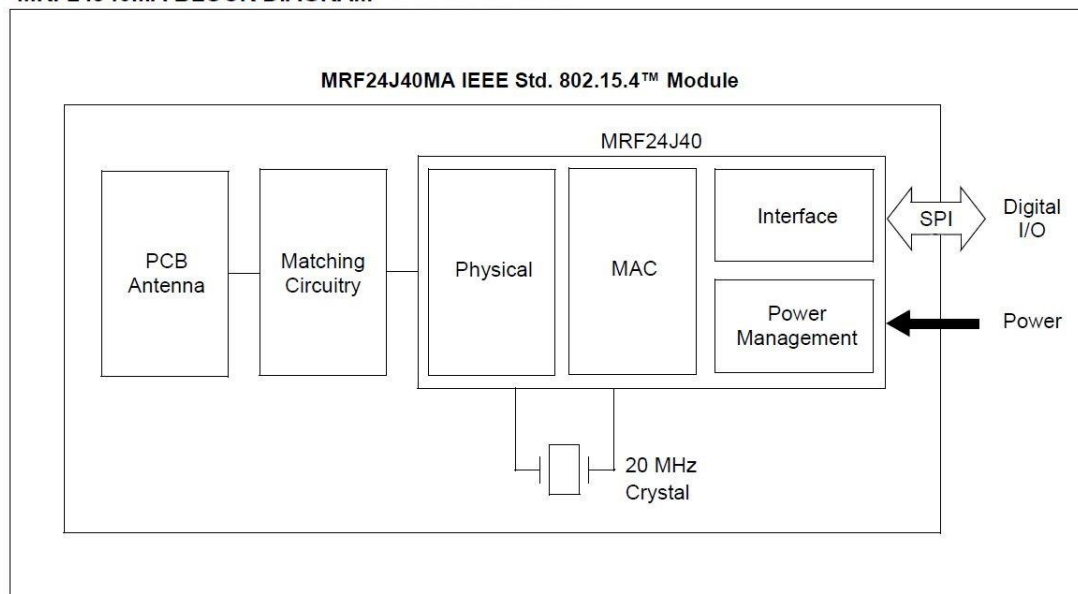


Слика 2.1.1.5. Шематски и хардверски приказ на примопредавател (ZigBee)

Figure 2.1.1.5. Schematic and hardware display of ZigBee transceiver

Уредот се состои од модул MRF24J40MA со поддршка за 2.4 GHz IEEE 802.15.4 стандард. Има вградена антена со потребните комуникациски пинови.

MRF24J40MA BLOCK DIAGRAM



Слика 2.1.1.6. Блок-дијаграм на примопредавателниот модул (ZigBee)

Figure 2.1.1.6. Block diagram of ZigBee transceiver

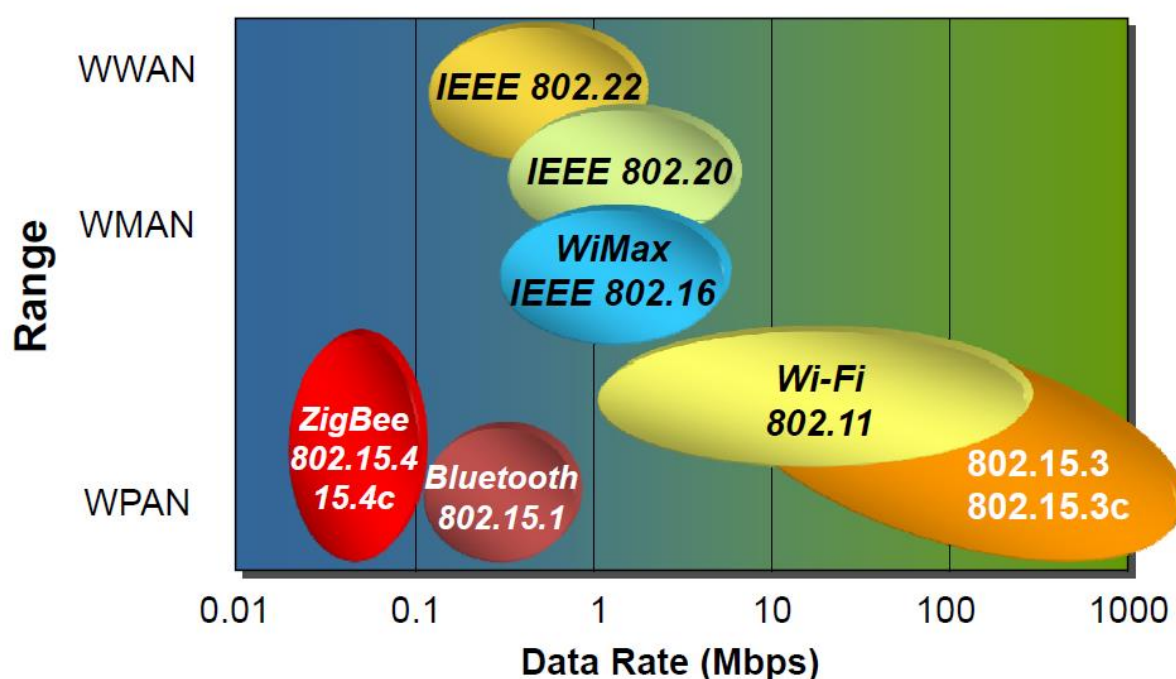
Технологијата ZigBee што се употребува во овој проект е безжичен индустриски стандард со мала потрошувачка и ниска цена за имплементација.

Сепак треба да спомнеме дека оваа технологија сè уште е во развој, но разните апликации во кои е употребена покажаа дека ZigBee има многу позитивни страни.

Мрежата што го користи овој протокол е способна да поддржи комуникација на повеќе од 64.000 уреди поврзани во кој било вид на топологија. Комуникациските пакети на овој стандард се мали, нивното примопредавање обично е без проблем и брзо.

Главни карактеристики на овој стандард се:

- користењето на 2.4 GHz фреквенциска област во согласност со IEEE 802.15.4;
- можност за користење на повеќе од 16 комуникациски канали во фреквенциската област;
- механизми за регулација и штедење на потрошувачка;
- механизми за откривање и регистрација на безжични јазли;
- механизми за парирање на уреди;
- поддршка за разни PAN комуникациски топологии, како што се ѕвезда, дрво и мрежа;
- можност за користење на сигурносни клучеви и AES-128 сигурносната шема на стандард.



Слика 2.1.1.7. Позиција на ZigBee во фамилијата на IEEE 802 безжични технологии

Figure 2.1.1.7. ZigBee position in the family of IEEE 802 wireless technologies

Нашата комуникациска мрежа со два мерни јазли ќе ја конципираме на еден тип топологија и еден комуникациски канал. Нејзините карактеристики се:

- ѕвезда топологија со PAN координатор (базната станица);
- максимална моќност на предавател за постигнување на поголема оддалеченост на јазлите и нивна постојана активност (non-beacon mode);
- користење на канал 11 (2405 MHz);
- незаштитена комуникација помеѓу јазлите и базната станица.

Сензорот што се користи од мерните јазли е производ на Sensirion и спаѓа во фамилијата на SHT7x сензори за мерење на релативната влажност и температура. Сензорите имаат интегрирани мерни елементи и сигнални процесирачки модули со целосно калибриран дигитален излез. Мерниот елемент за мерење на релативната влажност е капацитивен, додека температурниот елемент е од band-gap тип со мерни биполарни транзистори. Овие елементи се поврзани со 14-битен аналого дигитален конвертор и сериски интерфејс.

Сензорите со band-gap температурни елементи имаат добри линеарни карактеристики при конверзија на температурата во излезна дигитална вредност (SO_T) по дизајн. Температурата може да се одреди преку следната релација:

$$T = d_1 + d_2 \cdot SO_T$$

VDD (V)	d_1 (°C)
5	-40.1
4	-39.8
3.5	-39.7
3	-39.6
2.5	-39.4

SO_T	d_2 (°C)
14 bit	0.01
12 bit	0.04

Табела 2.1.1.1. Коефициенти за конверзија на температура

Table 2.1.1.1. Temperature conversion coefficients

При читањето на дигиталните вредности (SO_{RH}) за влагата, потребно е да се направи компензација на нелинеарноста која се појавува при конверзија со следната релација:

$$RH_{linear} = C_1 + C_2 \cdot SO_{RH} + C_3 \cdot (SO_{RH})^2 \text{ [%RH]}$$

SO_{RH}	C_1	C_2	C_3
12 bit	-2.0468	0.0367	-1.5955E-6
8 bit	-2.0468	0.5872	-4.0845E-4

Табела 2.1.1.2. Коефициенти за конверзија на влага

Table 2.1.1.2. Humidity conversion coefficients

Произведувачот гарантира добар квалитет на мерни податоци од сензорот и отпорност на надворешни електромагнетни влијанија. Секој сензор фабрички е калибриран во влажна комора, а калибрациските коефициенти се претпрограмирани во OTP (one time programmable) меморија на сензорот. Овие коефициенти се користат интерно од логиката на сензорот за калибрирање на мерните сигнали од внатрешните елементи. Сензорот има компактен дизајн, мала потрошувачка и двожилен сериски комуникациски интерфејс.

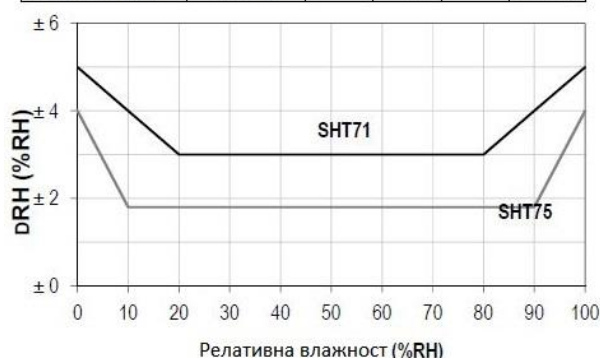


Слика 2.1.1.8. Сензор за мерење на температура и влага (SHT71)

Figure 2.1.1.8. SHT71 temperature and humidity sensor

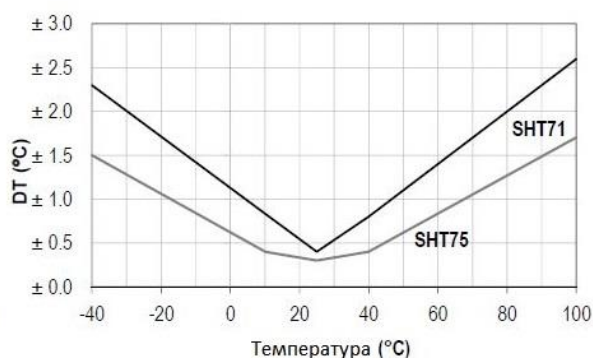
Релативна влажност

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Resolution ¹		0.4	0.05	0.05	%RH
		8	12	12	bit
Accuracy ² SHT71	typ		±3.0		%RH
	max	ГРАФИК НА RH			
Accuracy ² SHT75	typ		±1.8		%RH
	max	ГРАФИК НА RH			
Repeatability			±0.1		%RH
Hysteresis			±1		%RH
Nonlinearity	raw data		±3		%RH
	linearized		<<1		%RH
Response time ³	tau 63%		8		s
Operating Range		0		100	%RH
Long term drift ⁴	normal		< 0.5		%RH/yr



Температура

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Resolution ¹		0.04	0.01	0.01	°C
		12	14	14	bit
Accuracy ² SHT71	typ		±0.4		°C
	max	ГРАФИК НА ТЕМП.			
Accuracy ² SHT75	typ		±0.3		°C
	max	ГРАФИК НА ТЕМП.			
Repeatability			±0.1		°C
Operating Range		-40		123.8	°C
		-40		254.9	°F
Response Time ⁶	tau 63%	5		30	s
Long term drift			< 0.04		°C/yr



Слика 2.1.1.9. Перформанси на сензорот

Figure 2.1.1.9. Sensor characteristics

Од слика 2.1.1.9 може да се види дека SHT-71 покажува најмалку отстапувања во мерењата во интервали на влажност и температура кои се својствени за затворената средина на пластениците. Работата на сензорот е стабилна во дадениот интервал на работни вредности, но доколку се случи да се надвор од предвиденото, сензорот ќе продолжи да работи со поголеми отстапувања или грешки и ќе се забрза неговото стареење. По враќањето на номиналните услови тој постепено по одреден период ќе се врати на фабричките калибрирани вредности.

За да се избегне ефектот на самозагревање на SHT-71 не се препорачува голема фреквенција на негово читање.

По фабрички подесувања, резолуцијата на температурните мерења е со 14-битна резолуција, а мерењето на релативната влажност е со 12-битна резолуција. Овие резолуции можат да се намалат на 8 бита доколку се

потребни апликации со зголемена фреквенција на отчитувања и доколку се бара мала потрошувачка на енергија.

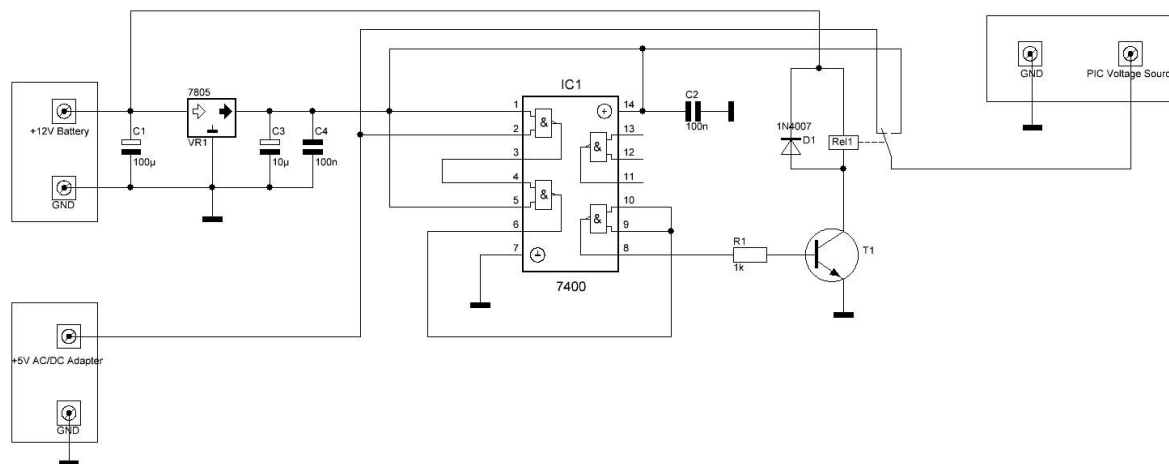
Делот за напојување на целиот систем се состои од AC/DC адаптер и целобранов трансформаторски исправувач кој се приклучуваат на стандардна монофазна наизменична електрична мрежа од 220V/50Hz и обезбедуваат напон од 5V и 12V. За да се обезбеди непрекината функција на мерните јазли при краткотраен прекин на напонот на електричната мрежа дополнително е вградена акумулаторска батерија од 12 V со капацитет од 4 Ah или 7 Ah во куќиштето на јазолот, што при нормална работа (стабилен напон од 220 V) се полни од исправувачот за 12 V.

При прекин на напонот од електричната мрежа, електрониката од слика 2.1.1.11 врши брзо префрлување на работата на системот на напон од батеријата.



Слика 2.1.1.10. Типови на поддржани батерии

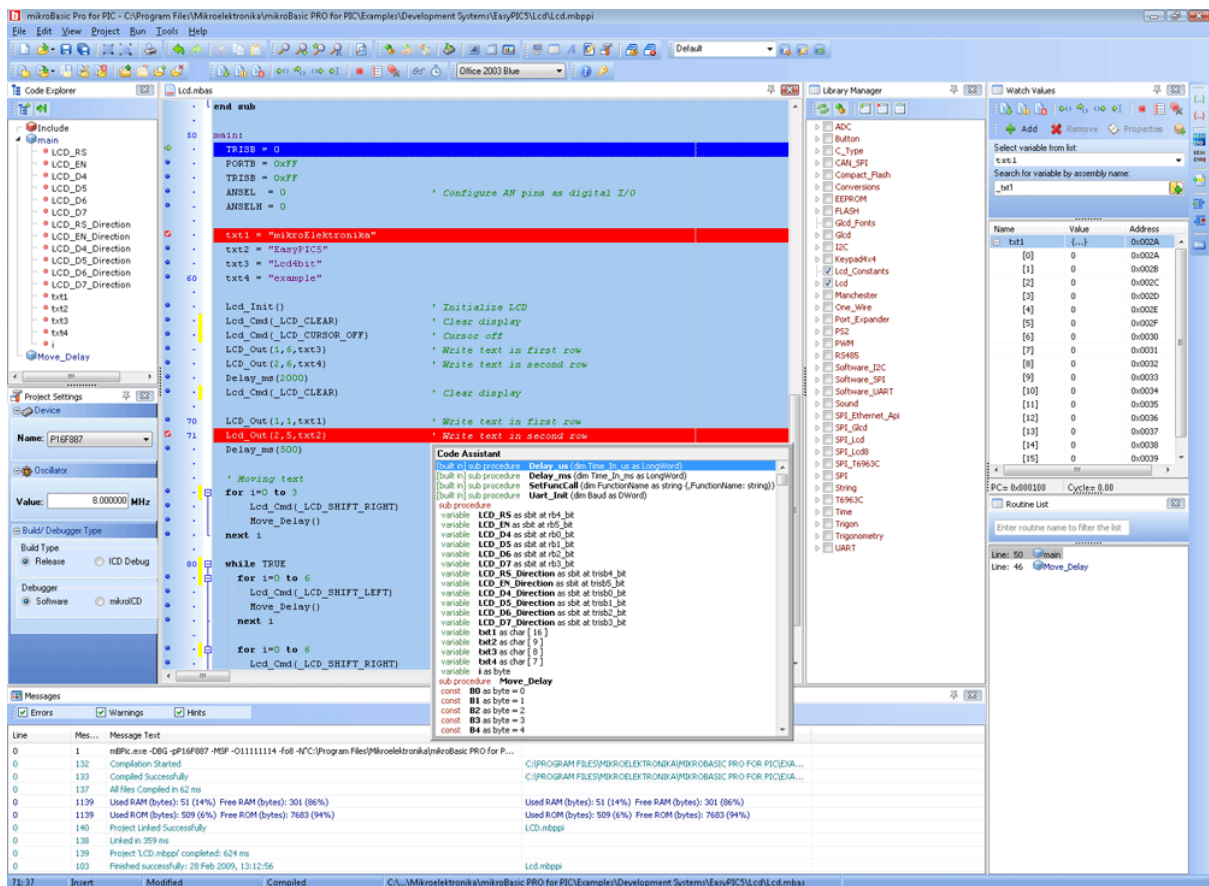
Figure 2.1.1.10. Supported battery types



Слика 2.1.1.11. Електрична шема на напонски префрлувач

Figure 2.1.1.11. Schematics of voltage switcher

За да функционира мерниот јазол како единствен уред потребна е изработка на соодветен софтвер во повисок програмски јазик приспособен за микроконтролерот од развојната плоча. На пазарот постојат повеќе типови на програмски јазици кои се базирани на Basic, Pascal или C кои обезбедуваат голема поддршка и многу бесплатни софтверски библиотеки со разни програмски рутини. Во нашиот случај изборот падна на софтверскиот јазик mikroBasic за PIC микроконтролери од Mikroelektronika со неговиот компајлер кој работи под Windows оперативни системи.



Слика 2.1.1.12. Развојна околина на компајлерот
Figure 2.1.1.12. Compiler IDE

Развојната околина на компајлерот ги има следниве можности:

- интелигентна поддршка за правилна синтакса и активна асистенција при програмирање со автоматска корекција;
- можност за отворање на повеќе проекти во исто време;
- можност за менаџмент на библиотеки;
- волшебници за лесно креирање и подесување на саканиот проект;
- брзо компајлирање, алатки за откривање на грешки и директно програмирање на кодот во микроконтролерот;
- вклучена помош со кратки примери и напредни можности за подесување на проектот.

Програмирањето на микроконтролерот од мерниот јазол се изведува преку USB портот кој се наоѓа на плочата. Од претходната табела на слика 2.1.1.2 може да се види дека микроконтролерот има директна поддршка за USB комуникација како периферен уред со домаќински (host) уред.

За да се овозможи овој тип на директно програмирање, потребен е посебен софтвер таканаречена bootloader рутина, која мора претходно да биде вметната во микроконтролерот. Ова програмирање на bootloader е веќе фабрички направено со што се олеснува понатамошниот софтверски развој од страна на корисникот.



Слика 2.1.1.13. Интерфејс на софтверот за директно програмирање

Figure 2.1.1.13. USB software programing interface

Работата со софтверот mikroBootloader е едноставна и интуитивна. При поврзувањето на микроконтролерската плоча со USB кабел до персоналниот компјутер се активира чекорот број 2 за софтверско поврзување. Понатаму се селектира датотеката со компајлираниот код и HEX екстензија. На крај е четвртиот чекор и програмирањето на кодот во микроконтролерот.

```

:040000004DEF21F0AF
:1000080000C01EF001C01DF002C01CF003C01BF0B0
:1000180004C01AF005C019F008C018F009C017F09C
:100028000AC016F00BC015F0E1CF27F0E2CF28F098
:100038000E9CF25F0EACF26F0F3CF23F0F4CF24F070
:10004800F5CF22F0F8CF1FF0F7CF20F0F6CF21F050
:10005800B0EC1EF0F2A411D0F2940B0ED76EDC0EA9
:10006800D66EA5EC1EF00050000A07E0B60E01019E
:100078009A6F000E9B6FFBEC20F0807022C0F5FF9A
:100088001FC0F8FF20C0F7FF21C0F6FF23C0F3FF11
:1000980024C0F4FF1EC000F01DC001F01CC002F017
:1000A8001BC003F01AC004F019C005F018C008F00E
:1000B80017C009F016C00AF015C00BF025C0E9FFFB
:0E00C80026C0EAF27C0E1FF28C0E2FF1100BA
:1000D6001E0E0F01276F100E0001DD6F0D0EDE6F75
:1000E600DDC0E1FFDEC0E2FFE69EDDC0E1FFDEC06F
:1000F600E2FFE69C040EDD25E16E000EDE21E26ED7
:10010600E68C180EEE6F0D0EEF6FECC0E1FFEFC03E
:10011600E2FFE69EEEC0E1FFEFC0E2FFE69C040EC2
:10012600EE25E16E000EEF21E26EE68C020EDD2575
:10013600E16E000EDE21E26E13C1E6FF14C1E6FF9A
:10014600010EDD25E16E000EDE21E26E400EE66E4A
:10015600DDC0E9FFDEC0EAFEEECF00F0DDC0E1FF63
:10016600DEC0E2FF400E0014E66EDDC0E9FFDEC031
:10017600EAFEEECF00F0DDC0E1FFDEC0E2FF880E51
:100186000010E66EDDC0F5F0DEC0F6F0040EDD19F7
:080196000006E00C0DDF0120054

```

Слика 2.1.1.14. Пример за компајлиран код

Figure 2.1.1.14. Compiled code example

Пишувањето на кодот, неговата проверка и исправањето на грешките е процес со одредена временска рамка. Бидејќи мерните јазли воспоставуваат безжична комуникација преку која ги испраќаат податоците, исправноста на работата на софтверот за јазлите ќе ја следиме само со уреди кои можат да ги регистрираат овие ZigBee пакети и да ја прикажат нивната содржина.

Pnbr.	Time (us)	Length	Frame control field	Sequence number	Dest. PAN	Dest. Address	Source PAN	Source Address	MAC payload	NWK Frame control field	NWK Dest. Address	NWK Src. Address	Broadcast Radius	Broadcast Seq.num	NWK Unkn
RX	+0	=0	Type Sec Pnd Ack.req PAN compr	0x23	0x0303	0x0202	0x0303	0x0101	01 00 00 88 41	Type Version DR GA Sec	0x8000	0x6641	0x66	0x3E	
1		22	DATA 0 0 0 0						66 66 3E 42	CMD 0x0 0 0 0 0 0 0	0x8000	0x6641	0x66	0x3E	
RX	+1946911	=1946911	Type Sec Pnd Ack.req PAN compr	0x23	0x0303	0x0202	0x0303	0x0101	01 00 00 88 41	Type Version DR GA Sec	0x8000	0x6641	0x66	0x3E	
2		22	DATA 0 0 0 0						66 66 3E 42	CMD 0x0 0 0 0 0 0 0	0x8000	0x6641	0x66	0x3E	
RX	+1946910	=3893821	Type Sec Pnd Ack.req PAN compr	0x23	0x0303	0x0202	0x0303	0x0101	01 00 00 88 41	Type Version DR GA Sec	0x8000	0x6641	0x66	0x3E	
3		22	DATA 0 0 0 0						66 66 3E 42	CMD 0x0 0 0 0 0 0 0	0x8000	0x6641	0x66	0x3E	
RX	+1944991	=5838812	Type Sec Pnd Ack.req PAN compr	0x23	0x0303	0x0202	0x0303	0x0101	01 00 00 88 41	Type Version DR GA Sec	0x8000	0x6641	0x66	0x3E	
4		22	DATA 0 0 0 0						66 66 3E 42	CMD 0x0 0 0 0 0 0 0	0x8000	0x6641	0x66	0x3E	
RX	+1946270	=7785082	Type Sec Pnd Ack.req PAN compr	0x23	0x0303	0x0202	0x0303	0x0101	01 00 00 88 41	Type Version DR GA Sec	0x8000	0x6641	0x66	0x3E	
5		22	DATA 0 0 0 0						66 66 3E 42	CMD 0x0 0 0 0 0 0 0	0x8000	0x6641	0x66	0x3E	

Слика 2.1.1.15. Анализа на ZigBee пакети

Figure 2.1.1.15. Analyzed ZigBee packets

На слика 2.1.1.15 се прикажани четири случајно испратени пакети при процесот на тестирање од примопредавателниот уред на микроконтролерската плоча. Од овој приказ може да се анализира содржината на податоците кои се испраќаат, адресата на испраќачот и на примателот, PAN ознаката и сл. Софтверот кој ја овозможува оваа анализа е производ на Texas Instruments, се

нарекува The SmartRF Packet Sniffer и е бесплатен. Packet Sniffer поддржува повеќе радиопротоколи, може да филтрира, да декодира и да ги прикажува резултатите на стандарден начин со можности за чување во датотека.

Protocol	Version	Capture device	Can be used to capture packets from
Bluetooth® low energy	Bluetooth core spec 4.0	CC2540 USB Dongle CC2540EM + SmartRF05EB	CC2540 Bluetooth® low energy devices
ZigBee	2007/PRO 2006 2003	CC2531 USB Dongle CC2533EM + SmartRF05EB CC2530EM + SmartRF05EB CC2520EM + SmartRF05EB	CC2420 CC2430, CC2431 CC2480 CC2520 CC2530, CC2531 CC2538
RF4CE	ZigBee RF4CE 1.0.1	CC2531 USB Dongle CC2533EM + SmartRF05EB CC2530EM + SmartRF05EB CC2520EM + SmartRF05EB	CC2520 CC2530, CC2531 CC2533
SimpliciTI	1.2.0 1.1.1 1.1.0 1.0.6 1.0.4	CC1111 USB Dongle CC1110EM + SmartRF04EB/SmartRF05EB CC1101EM + SmartRFTxrxEB CC110LEM + SmartRFTxrxEB CC113LEM + SmartRFTxrxEB	CC1100, CC1100E CC1101, CC110L CC1110, CC1111 CC430
		CC1120EM + SmartRFTxrxEB CC1121EM + SmartRFTxrxEB CC1125EM + SmartRFTxrxEB	CC1120 CC1121 CC1125

2.1.1.16. Поддржани протоколи и уреди

Figure 2.1.1.16. Supported protocols and devices

TI Packet Sniffer работи со неколку типови на хардверски уреди за следење на ZigBee фреквентно подрачје. Во нашиот случај е користен хардвер ZigBee CC2531 USB dongle, protocol analysis, port and capture.



Слика 2.1.1.17. CC2531 USB уред

Figure 2.1.1.17. CC2531 USB device

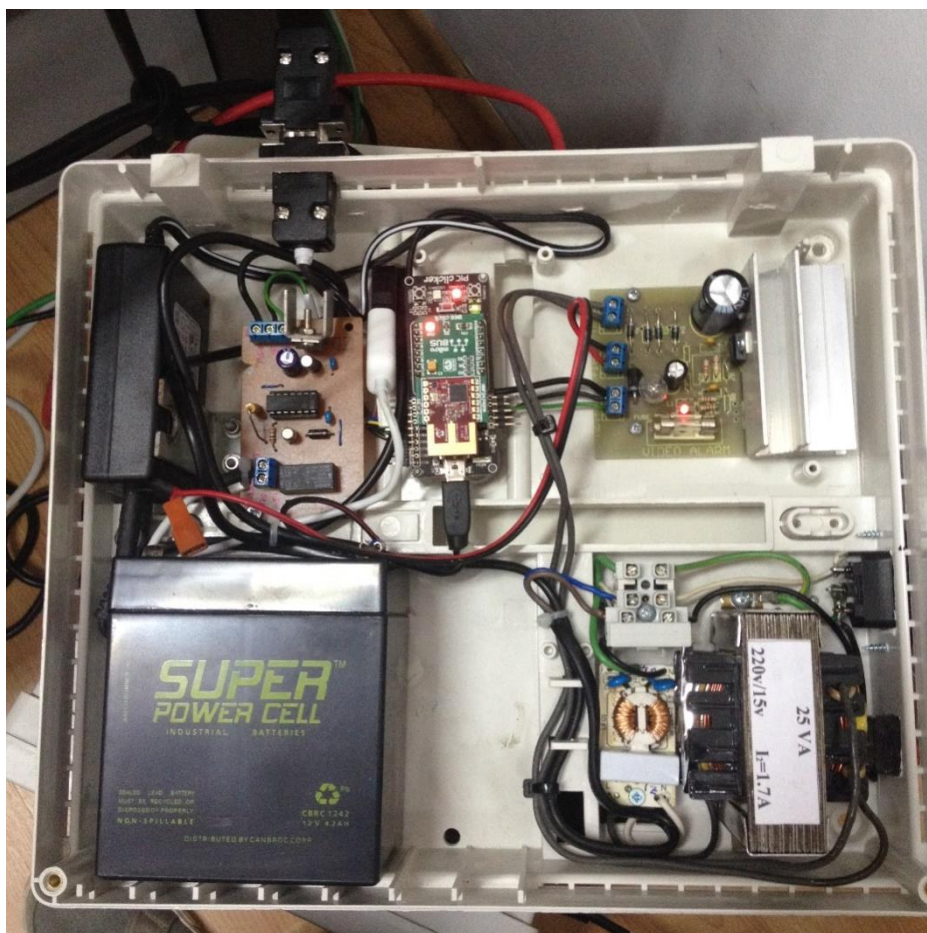
Хардверската компонента CC2531 е 2.4-GHz IEEE 802.15.4 компатибилен радиопримопредавателен чип базиран на процесорско јадро од фамилијата на MCS8051, со USB комуникациски можности и голема осетливост на сигнали. Се користи претежно во комуникациски апликации и бара малку надворешни електронски компоненти за правилна работа.

Испраќањето на податоците од мерен јазол кон базната станица е во формат на низа од бајти. Низата се наоѓа во MAC Payload секцијата од пакетната структура на ZigBee. Максималниот број на бајти кои можеме да ги испратиме во вид на низа како MAC payload е ограничен од ZigBee стандардот и тој изнесува 100 бајти во незаштитен режим. Во нашиот случај големината на низата е 24 бајти со следната структура:

Индекс во низата	Опис
0 – 1	Бајт 1 и 2 од адресата на предавателот
2	Резервирано за идни потреби
3	Тип на сензор: 00000000 - no sensor (нема сензор) 00000001 - Temperature type (температура) 00000010 - RH type (влажност) 00000100 - ATM type (атмосферски притисок) 00001000 - LW type (влажност на лист) 00010000 - PH type (PH вредност на почва)
4 – 7	Четири бајта за вредност на температурата
8 – 11	Четири бајта за вредност на влажност
12 – 15	Четири бајта за вредност на атмосферски притисок
16 – 19	Четири бајта за вредност на влажност на лист
21 – 23	Четири бајта за вредност на PH на почва

Табела 2.1.1.1. Структура на низа за пренос на податоци

Table 2.1.1.1. Structure of array data



Слика 2.1.1.18. Изглед на мерен јазол

Figure 2.1.1.18. Sensor node view



Слика 2.1.1.19. SHT-71 сензор

Figure 2.1.1.19. SHT-71 sensor view

2.1.2. Базна станица

Уредот којшто ја претставува базната станица и ги прифаќа мерењата од јазлите преку ZigBee комуникација е исто така PIC микроконтролерска развојна плоча со прифатлива цена, перформанси и влезно-излезни можности. Плочата е изградена од следнивите елементи:

- осумбитен микроконтролер од серијата PIC18F, поточно PIC18F97J60 со TCP\IP и UDP\IP мрежна поддршка;
- мрежен (Ethernet RJ-45) конектор;
- LCD - дисплеј со позадинско осветлување и можност за приказ на два реда по 16 карактери;
- RTC - часовник за реално време со батерија;
- две излезни релиња со индикациски светлечки диоди;
- две сериски комуникациски SPI (Serial Peripheral Interface) влезно-излезни порти за 5v и 3.3V;
- две сериски RS232 и RS485 порти;
- електрично-програмибилна меморија EEPROM со капацитет од 32 KB;
- RAM меморија со капацитет од 32 KB;
- 4-функционални копчиња и едно копче за хардверски ресет на микроконтролерот;
- ICSP конектор за директно програмирање на микроконтролерот;
- звучник;
- осум светлечки диоди за општа употреба;
- сензори за температура и светлина;
- DC\DC напонски конвертор.

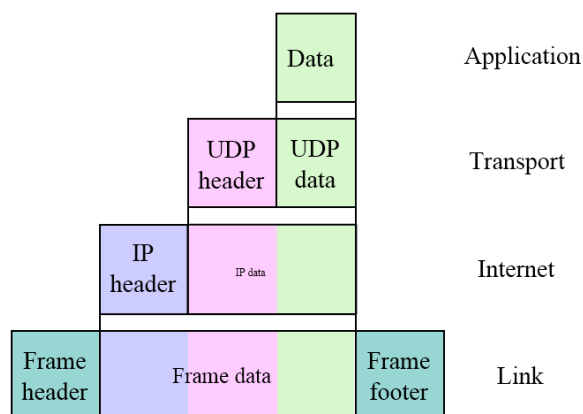
Микроконтролерот PIC18F97J60 се вбројува во уреди со мала потрошувачка и работи на помал напон. Неговата висока пресметувачка моќ, комуникациската можност и отвореноста за поврзување ги добиваме за ниска цена, па затоа претставува логички избор во кој било развој на апликации со високи перформанси.



Слика 2.1.2.1. Базна станица

Figure 2.1.2.1. Base station

Една од можностите е вградената поддршка и компатибилноста со IEEE 802.3 Ethernet стандардот. Преку вградената RJ-45 мрежна порта оваа станица комуницира преку локалната мрежа со серверот на кој работи автономниот сервис. При оваа комуникација на транспортно ниво, поради потребата за почесто испраќање на податоци ќе го користиме UDP протокол кој се карактеризира со брзина и минимален механизам на поврзување помеѓу уредите. Поддржува механизми за интегритет на податоците, но не гарантира сигурност при доставувањето на пакетите. Креирањето на софтверот за работа на базната станица е од рутини со отворен код за мрежни комуникации овозможени од компајлерот mikroBasic.



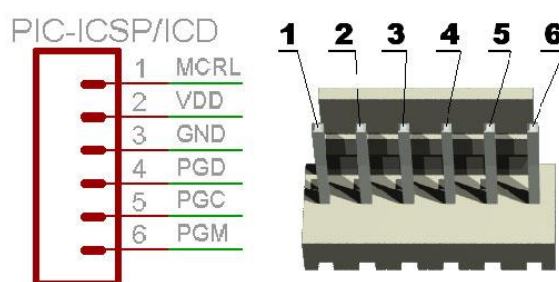
Слика 2.1.2.2. UDP/IP модел

Figure 2.1.2.2. UDP/IP model

Дисплејот на развојната плоча ќе се користи за давање на информации на корисникот, како што е IP адресата на уредот или појава на грешка.

Функциските копчиња можат да имаат различна улога, како што се вклучување на позадинското осветлување на екранот и бришење на вредностите од EEPROM меморијата.

Бидејќи микроконтролерот е заземен на плочата, неговото програмирање е можно само преку ICSP (In-Circuit Serial Programming) конектор. Програмирањето се изведува со програматор кој може да се прикачи на овој ICSP конектор.



Слика 2.1.2.3. ICSP конектор

Figure 2.1.2.3. ICSP connector



Слика 2.1.2.4. PICkit 3 програматор

Figure 2.1.2.4. PICkit 3 programmer

На слика 2.1.2.3 е даден приказ на изгледот и значењето на пиновите на конекторот за директно програмирање, а на слика 2.1.2.4 програматорот PICkit 3. Овој PICkit 3 уред има можности за дебагирање, со што ни ја олеснува работата при програмирање на кодот за базната станица и исправање на грешките.

Безжичната комуникација на базната станица со јазлите се остварува преку истиот ZigBee модул од слика 2.1.1.5. Бидејќи на плочата од базната станица немаме mikroBUS конектор, поврзувањето со примопредавателниот уред BeeClick е направено со кориснички направен mikroBUS приклучок приспособен за SPI (serial peripheral interface) интерфејс со напонско ниво на комуникација од 3.3 V.

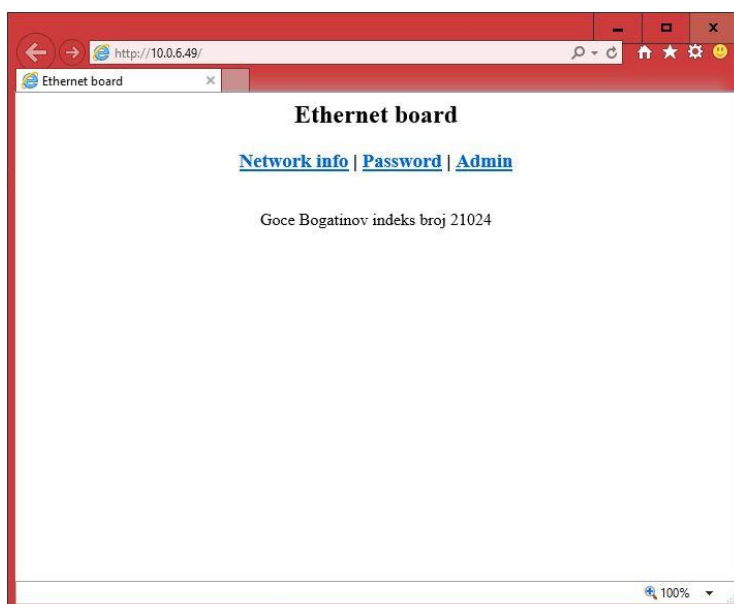
Базната станица го прави прифаќањето на податоците во низа со иста големина како и низата од мерните јазли, а потоа оваа низа ја испраќа на автономниот сервис преку локалната мрежа.

Пристапот до интерфејсот за подесувањата на базната станица е овозможен преку интернет прелистувач. Од сликите 2.1.2.5 и 2.1.2.6 може да се

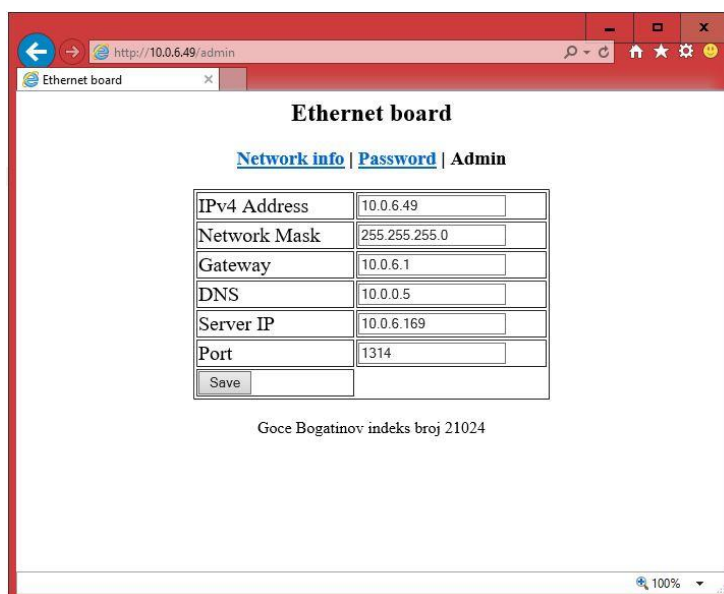
види што е потребно да се дефинира за да може да се оствари мрежна комуникација.

На веб-страницата од базната станица треба да се подеси:

- IPv4 адреса на базната станица, маска на подмрежа, IPv4 адреса на gateway уред и DNS сервер;
- IPv4 адреса и порта на сервер за комуникација.



Слика 2.1.2.5. Веб интерфејс на базна станица
Figure 2.1.2.5. WEB interface of the base station



Слика 2.1.2.5. Администраторски дел на базна станица
Figure 2.1.2.5. Admin page of the base station

Портот за сериска комуникација RS232 се користи како средство за дијагностика и дебагирање, со тоа што дополнително ќе му се испраќа мерната низа, но и други податоци кои се потребни во овој процес.

Локалните сензори за светлина и температура кои се вградени на плочата можат да се искористат во покренување на аларми во случај на прегрејување и неовластено отворање на заштитниот пластичен капак на уредот.

За непречена работа на станицата при краткотрајни прекини на електрична енергија е предвидена батерија исто како кај мерните јазли.



Слика 2.1.2.6. Изглед на базна станица
Figure 2.1.2.6. Physical view of the base station

2.1.3. Систем за следење на метеоролошки параметри

Како што спомнавме претходно, освен мерењето на внатрешните пластенички параметри потребно е мерење и на надворешните атмосферски услови. Овој метеоролошкиот систем е базиран на станици со можност за мерење, чување и испраќање на повеќе типови на мерни податоци за температура, брзина и правец на ветер, количина на врнежи, релативна влажност, точка на роса, температура на почва и сл.

Поставената станица е од серијата WatchDog 2000 на Specware која веќе се користи за предвидување на разни болести и појава на штетници на одредена земјоделска површина. Станицата е целосно водоотпорна со 12-битна резолуција на точност. Повеќе корисници можат да пристапат во различни времиња до истата, измерените податоци се чуваат во меморија и не се бришат додека не се преземат. Станицата има можност за директна сериска комуникација преку RS232 со персонален компјутер или преку дополнителни уреди кои овозможуваат радиоврска. Тековните временски услови, историски мерни податоци и параметри се лесно видливи на LCD екранот на станицата. На екранот на станицата може да се програмираат и прикази за појава на различни растителни болести и потенцијални инфекции. Програмирањето и подесувањето може да се вршат преку софтвер или преку вградената тастатура.

Серијата 2000 е уникатна, бидејќи нема внатрешни сензори и опремена е со 9 надворешни сензорни порти кои можат да се употребат за кој било WatchDog надворешен сензор.

Метеоролошката станица нема копче или прекинувач за вклучување и наместо тоа уредот е оперативен додека има функционални батерии. Откако ќе се конфигурира, станицата ќе ги задржи поставките дури и кога батериите ќе се отстранат или заменат. Измерените податоци се запишуваат на одреден интервал, а податоците прикажани на екранот се освежуваат на секои 20 секунди.



Слика 2.1.3.1. Метео станица

Figure 2.1.3.1. Meteo station



Слика 2.1.3.2. Метео станица - внатрешност

Figure 2.1.3.2. Meteo station - interior



Слика 2.1.3.3. Логичко поврзување на метео станица

Figure 2.1.3.3. Logical connection of meteo station

Sensor	Available on Models	Measurement Range	Accuracy
Wind Speed	All but 2800	0-175 mph	±5%
Wind Direction	All but 2800	2° increments	±7°
Temperature	All but 2800	-20° to 70°C -4° to 158° F	±0.6°C ±1°F
Relative Humidity	2550, 2700, 2900ET	20% to 100% @5° to 50° C	±3%
Rainfall	2600, 2700, 2900ET	0.01" (0.25cm) resolution	±2%
Solar Radiation	2900ET	1-1250 W/m ²	±5%

Item #	Sensor Description	Measurement Range	Accuracy
3666	Leaf Wetness	0(Dry) - 15(Wet)	N/A
3667 (6ft) 3667-20 (20ft)	External (Soil) Temperature	-30° to 100°C -22° to 212° F	±0.6°C ±1°F
3670	Silicon Pyranometer	1-1250 W/m ²	±5%
3668	Quantum Light	0-2500 μmol/m ² /s	±5%
3669,	Soil Moisture Transducer	0-100 kPa (R-type)	±2%
6450WD (6ft) 6450WD20 (20ft)	Watermark Soil Moisture Sensor	0-200 kPa (WM-type)	N/A
3664	20 ft. Sensor Extension Cable	N/A	N/A
6451	Irrigation On/Off	Switches at 5 psi	±1 psi
6471	Barometric Pressure	26 - 32 in Hg 660 - 810 mm Hg	±0.05" ±1.3 mm
3673 3674	Input Cable for User Supplied Sensor	0 - 2.5V 4 - 20mA	N/A
6452-20 6452-ADPT	20cm ECHO Soil Moisture Sensor	0% volumetric water content to saturation	±3% vwc

Слика 2.1.3.4. Модели и карактеристики

Figure 2.1.3.4. Models and characteristics

3. Дизајн на системот за автоматизација и контрола

Една од важните работи при одгледувањето на култури во пластеници е можноста да се контролираат параметрите на животната средина. Контролата на параметрите на внатрешната средина во голема мера зависи од параметрите на надворешната средина. На пример, еден од главните фактори при развојот на растенијата е температурата. Различни видови култури имаат различни оптимални температури за развој на стеблата и коренот во различни фази на развојот. Бидејќи сме заинтересирани за брз развој на растенијата, потребно е да се обезбедат овие оптимални температурни вредности во целиот тек на растењето со управување на системите за одговорни за одржување на внатрешната температура. Меѓутоа, за да се направи успешна регулација, потребно е да се познаваат и надворешните вредности на средината за да може системот да се приспособи. Температурата на внатрешната околина може да се регулира на три начина во зависност од параметрите на надворешната средина (GREENHOUSE Heating, Cooling and Ventilation Bulletin 792, November 2014):

- *Кондукција*

Затоплувањето се врши или преку супстанција или меѓу предметите со директен физички контакт. Стапката на спроводливост помеѓу двата предмета зависи од површината, должина, температурната разлика и физички својства на супстанцијата (како што е густината). Топлинскиот пренос со кондукција најлесно се намалува со употреба на материјал кој лошо спроведува топлина што се нарекува изолатор по целата должина на контактот или допирната површина. Еден пример за ова е замената на металната рачка од кујнска тава со дрвена рачка. Воздухот е многу лош проводник на топлина и затоа се вбројува во добрите топлински изолатори.

- *Конвекција*

Овој тип на размена на топлина е физичко движење на топол гас или течност на постудена локација. Загубите на топлина преку струење на воздух во внатрешноста на пластениците се случува преку вентилација и инфилтрација (вентилатори и дифузери на воздух). Пренос на топлина

со конвекција вклучува не само движење на воздух, туку исто така и движење на водена пареа. Кога водата во пластениците испарува таа да ја апсорбира енергијата од околината, а кога водената пареа кондензира во течност таа ослободува енергија. Значи кога водената пареа кондензира на површината на објект, таа ослободува енергија кон надворешната средина.

- *Радијација*

Пренос на топлина преку зрачење се случува помеѓу две тела без директен контакт или без медиум, како што е воздухот. Топлинското зрачење (на пример сончевата светлина) следи права линија. Зрачењето може да биде рефлектирано, емитирано или апсорбирано при допир со објектот. Емитираната енергија мора да се апсорбира за да биде конвертирана во топлина.

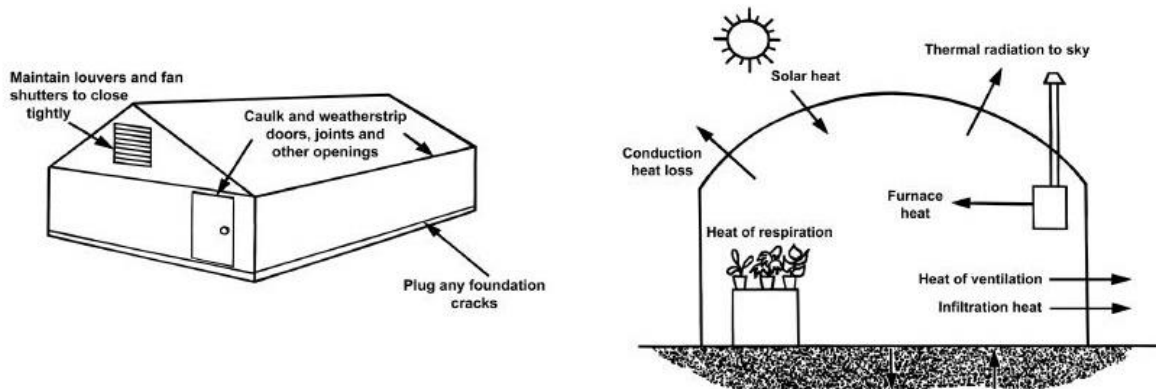
Стапката на топлинско зрачење варира во зависност од површината на објектот, како и од температурата и површинските карактеристики на двете тела кои се вклучени во процесот на размена. Топлинските загуби на еден објект може да се намалат со помош на високорефлективни нетранспарентни бариери. Таквите бариери ја рефлектираат енергијата назад кон својот извор, притоа апсорбираат многу малку зрачење, па затоа не се загреваат и не вршат повторно зрачење на енергија надвор кон други објекти.

Овде треба да се земат предвид и другите фактори кои влијаат на температурата, а тоа се дизајнот на пластениците и материјалот од кои се изработени.

Загубата на топлина преку инфилтрација на воздухот во пластениците зависи од староста и видот на истите. Постарите пластеници или оние во лоша состојба имаат пукнатини и отвори на заштитните површини преку кои навлегува ладен или топол воздух во зависност од временските услови надвор.

Вентилацискиот систем на пластениците има голем ефект при размената на големи количини на воздух, а со тоа и на топлинска енергија. Поради ова потребни се добар дизајн, изработка и одржување на истиот.

Контролата на пропуштената соларна енергија е, исто така, важна. Дел од оваа енергија се апсорбира од растенијата и почвата, а остатокот се рефлектира и создава ефект на стаклена градина.



Слика 3.1. Губење и собирање на енергија во пластеници

Figure 3.1. Energy collecting and loss in greenhouses

3.1. Енергетски загуби

Дизајнирањето на добар систем за греење е основа за доброто функционирање на еден пластеник. Системот треба да е добро пресметан за да ги задоволи потребите на пластеникот и при екстремни временски услови. Пресметките за губењето на топлината се првиот чекор во моделирањето на капацитетот за греење пред селекцијата на компонентите на овој систем (GREENHOUSE Heating, Cooling and Ventilation Bulletin 792, November 2014).

Пластеничките загуби на топлина се одредуваат со следната релација:

$$Q = \left[\frac{A_1}{R_1} + \frac{A_2}{R_2} + \dots + \frac{A_n}{R_n} \right] (t_i - t_o)(f_w)(f_c)(f_s)$$

каде што:

Q - целокупната загуба изразена во W (вати);

A_1, A_2, A_n - површината на различните компоненти пресметана во m^2 ;

R_1, R_2, R_n - термална изолациона карактеристика на компонентите пресметана во $m^2 \text{ } ^\circ\text{C}/W$, табела 3.1.1;

t_i -- внатрешната температура во Целзиусови степени $^\circ\text{C}$;

t_o - надворешната температура во Целзиусови степени $^\circ\text{C}$;

f_w - фактор на изложување или ветер, табела 3.1.2;

f_c - тип на конструкција или фактор на квалитет, табела 3.1.3;

f_s - системски фактор, табела 3.1.4.

Материјал	Дебелина [mm]	RSI вредност [m^2C/W]
Стакло	3	0.15
Фиберглас	-	0.16
Полиетилен	0.15	0.14
Акрил	6-12	0.30-0.35
Азбест цемент	6	0.16
Дрво	25	0.30
Бетон	100	0.20
Полистирен	25	0.88
Полиуретанска пена	25	1.10

Табела 3.1.1. Термални изолациони карактеристики на материјали

Table 3.1.1. Thermal insulating characteristics of materials

Брзина на ветер [km/h]	f_w
<25	1.00
30	1.03
40	1.08
50	1.13
60	1.18
70	1.22

Табела 3.1.2. Фактор на изложување

Table 3.1.2. Exposing factor

Тип на конструкција	f_c
Метал, тенко стакло	1.08
Дрвени и челични рамки	1.05
Дрвени конструкции, вентилациски системи	1.00 – 1.30
Фиберглас	0.95
Полиетиленски филм (еднослоен – двослоен)	0.90 – 0.95
Двоен акрил	0.90

Табела 3.1.3. Тип на конструкција или фактор на квалитет

Table 3.1.3. Construction type or quality factor

Системски фактор	f_s
Топлина добиена од поткровни полиетиленски цевки	1.15
Конвекциски или радиациски систем од цевки	1.10
Конвекциски или радијациски систем на под	1.00
Стакленик на ниски температури под 20°C (ефект на самозатворање на спојки на ниски температури)	0.95

Табела 3.1.4. Системски фактор

Table 3.1.4. System factor

Ова е стандардна равенка за пресметка на загубите на топлина на еден објект која е изменета и приспособена за потребите на пластеници. Загубата на топлина за кој било пластеник може лесно да се утврди со приклучување на соодветните вредности во оваа равенка. Во прилог е објаснувањето за факторите кои се употребуваат во равенката:

Q - е вредност за целосна загуба на топлина и се користи за да се утврди минималната големина и моќност на грејното тело кое ќе може да ја одржи внатрешната температура на пластеникот на бараното ниво.

A_1 , A_2 - се површини на разни градежни компоненти, како што се стакла, сидови и темели (m^2).

R_1 , R_2 - се термички изолациони карактеристики на градежните материјали (често се означуваат како „RSI“ во метричкиот систем). Табелата 3.1.1 ги дава вредностите за вообичаените материјали и компоненти за изградба на пластеници. При пресметките за загуби на топлина треба да се користат метричките вредности на RSI.

t_i - е најниската температурата на воздухот согласно со барањата или праксата на одгледување.

t_o - е надворешната најниска очекувана температура на воздухот.

f_w - е ветер или фактор на изложеност. Равенката за загуба на топлина е базирана врз основа на 25 km/h брзина на ветерот; овој фактор се зголемува за 5% за секоја промена на брзината на ветерот од 10 km/h (табела 3.1.2). Без разлика дали ќе се земе изложена или неизложена локација овој фактор се пресметува по проценка.

f_c - е фактор поврзан со квалитетот на градбата (табела 3.1.3). Овој фактор врши приспособување на загубата на топлина во зависност од видот, цврстината и квалитетот на градбата. Треба да се знае дека добрата и стегната конструкција, како и нејзините поправки, влијаат на барањата за загревање. Кај стари градби со отвори во конструкцијата овој фактор е многу голем.

f_s - е системски фактор (табела 3.1.4) кој се однесува на видот на системот за греење и праксата на негово управување.

3.2. Влажност на воздухот и нејзина контрола

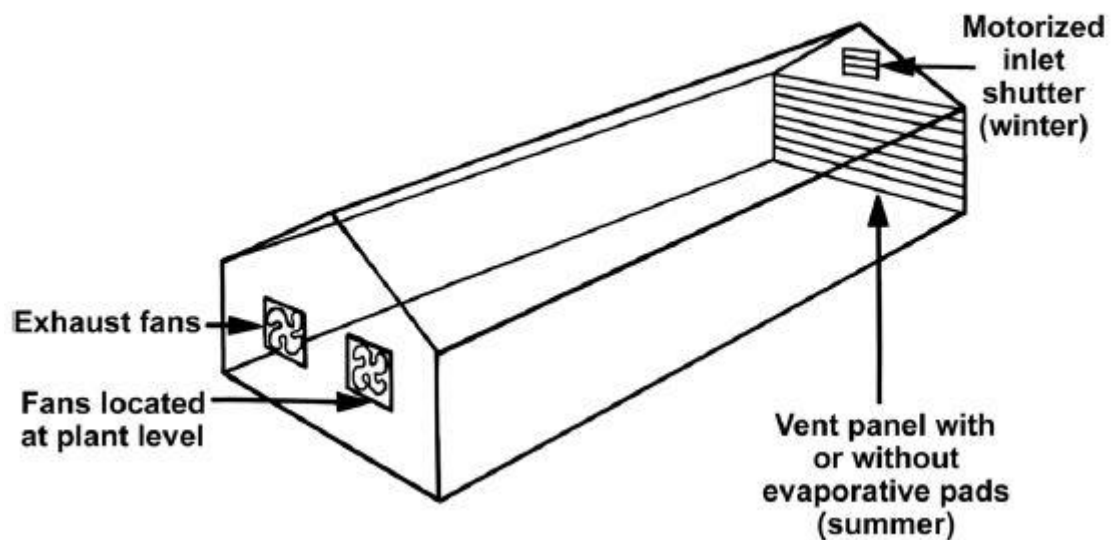
Добрата влажност во пластениците е важна од аспект на спречување, појава и развој на болести кај растенијата. Високата влажност може да предизвика габични заболувања, отежната респирација кај растенијата која го ограничува ладењето на листовите, а со тоа и појава на повисока температура на стеблото. Зголемената влажност на подолго време предизвикува и дефицит на транспорт на хранливи материи.

Ниската влажност, исто така, треба да се избегнува, бидејќи таа предизвикува зголемена респирација на растенијата до граници коишто коренот не може да ги издржи.

Влажноста најчесто се изразува како релативна влажност и е параметар којшто најтешко се контролира во пластеничка средина. Релативната влажност во граници од 50 до 85% е најпрепорачлива за сите температурни опсези.

Најлесно се контролира ниската влажност со помош на уреди за пареа, додека пак високата влажност која се јавува најчесто со респирација на растенијата се контролира преку вентилирање на влажниот и топол внатрешен воздух со надворешен поладен и посув воздух. Вентилирањето од друга страна предизвикува губење на топлина која мора да се компензира со греење, така што намалувањето на пластеничката влажност со оваа комбинација бара трошење на поголема количина на енергија.

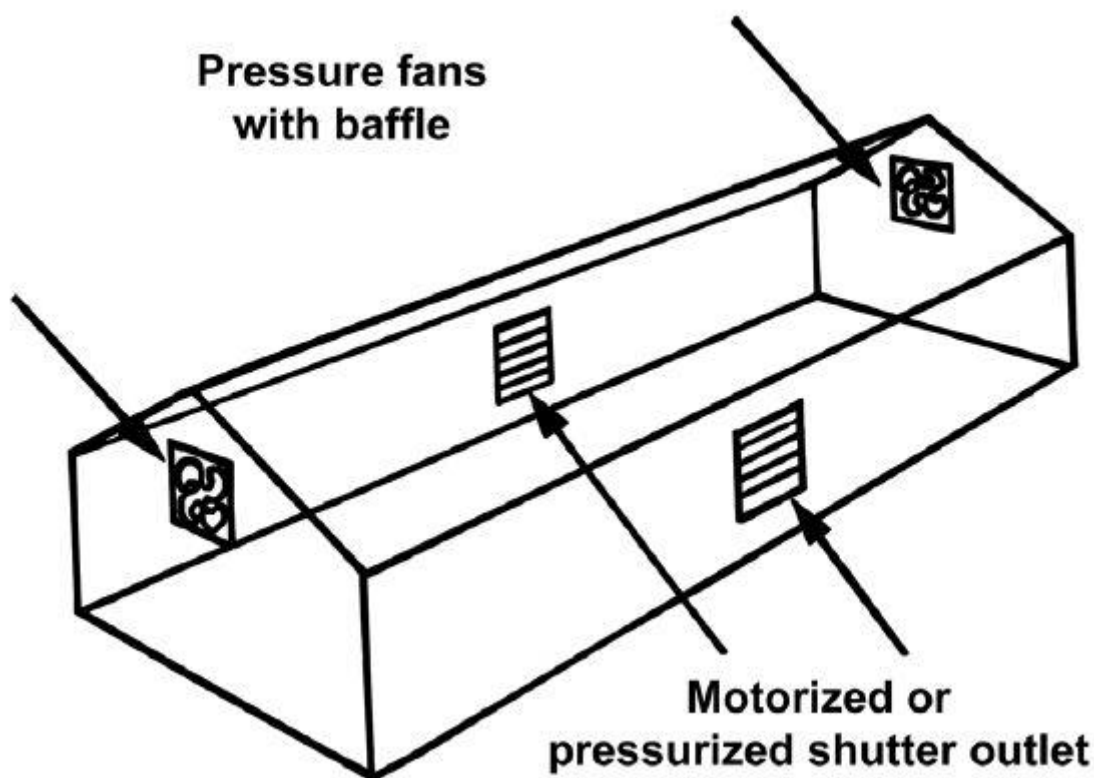
Предност на вентилацијата е можноста за намалување на внатрешната температура во текот на сончевите денови и зголемувањето на количеството на јаглерод диоксид, кој е од витално значење за фотосинтезата на растенијата. Некои пластеници се проветруваат со рачно управувани вентилатори на покривот. Овој метод обично не е задоволителен поради тоа што предизвикува големи флуктуации на температурата и е подложен на човечки грешки. Вентилацијата треба да биде дизајнирана така што ќе спречи ладни шокови на растенијата. Овие проблеми се решаваат со автоматизирани системи кои користат ограничувачки решетки на едниот крај и вентилатор за издувување гасови на другиот. Проблемот може да се намали со монтажа на системот на највисокиот дел од пластеникот.



Слика 3.2.1. Вентилирање, лето и зима

Figure 3.2.1. Ventilation, summer, winter

Вентилацијата за пластеници кои се пократки од 30 м може да се оствари со монтажа на вентилатори повисоко на крајните ѕидови, како на слика 3.2.2, кои ќе овозможуваат промена на притисокот во комбинација со странични регулациони решетки.

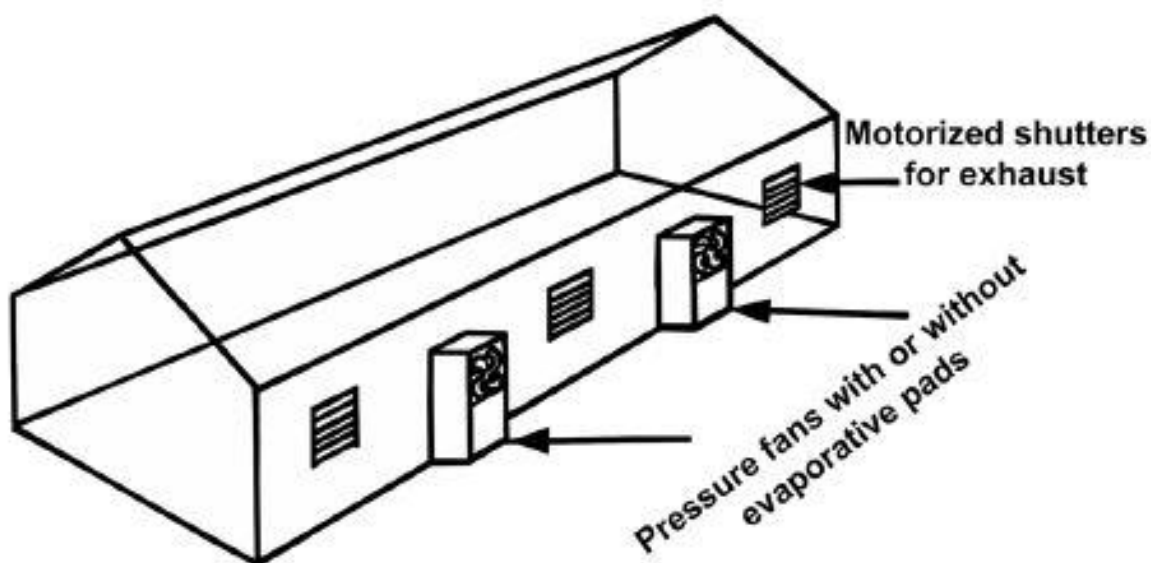


Слика 3.2.2. Вентилирање на пластеници помали од 30 m

Figure 3.2.2. Ventilation of greenhouses smaller than 30 m

Вентилаторите обично имаат надворешна заштита од навлегување на дожд и можност за контрола на брзината преку системот за мониторинг и управување.

Методот на автоматизирано вентилирање не е ефикасен кај пластеници со прекумерно загревање (на пример 300 W/h на квадратен метар). Прекумерното загревање може да предизвика оштетување на растенијата и во овој случај се користи комбинација на пластенички градежни материјали кои спречуваат навлегување на поголемо количество на сончева енергија со поскапи и помоќни разладни системи врз база на размена на енергија преку испарување, кои се ефикасни за средини со помала влажност.



Слика 3.2.3. Пластеник со посебен систем за контрола
Figure 3.2.3. Greenhouse with a special control system

Постојат и други поевтини решенија за разладување, како што се ладење со распрскување на вода или природна вентилација, но овие решенија се користат во исклучителни ситуации.

Ладењето во ситни капки на вода има повеќе недостатоци бидејќи водата која се распрскува создава поголема влажност во средината, а со тоа и ризик од појава на болести, истата треба да е деминерализирана и филтрирана за да не остава минерални наслаги коишто можат да ја намалат фотосинтезата. За да функционира ладењето со вода, потребен е сложен систем од цевки и распрскавачи со одреден контролен систем.

Природната вентилација користи отвори во вид на решетки кои се протегаат по целата должина на пластеникот и кои може да се отвораат колку што е потребно за да се обезбеди саканата температура. Овој метод ги користи топлинските разлики помеѓу внатрешната и надворешната средина за да создаде движење на воздухот. Природната вентилација обично не задоволува, бидејќи во најголем дел зависи од надворешните временски услови и може да се користи во комбинација со горенаведените методи на ладење.

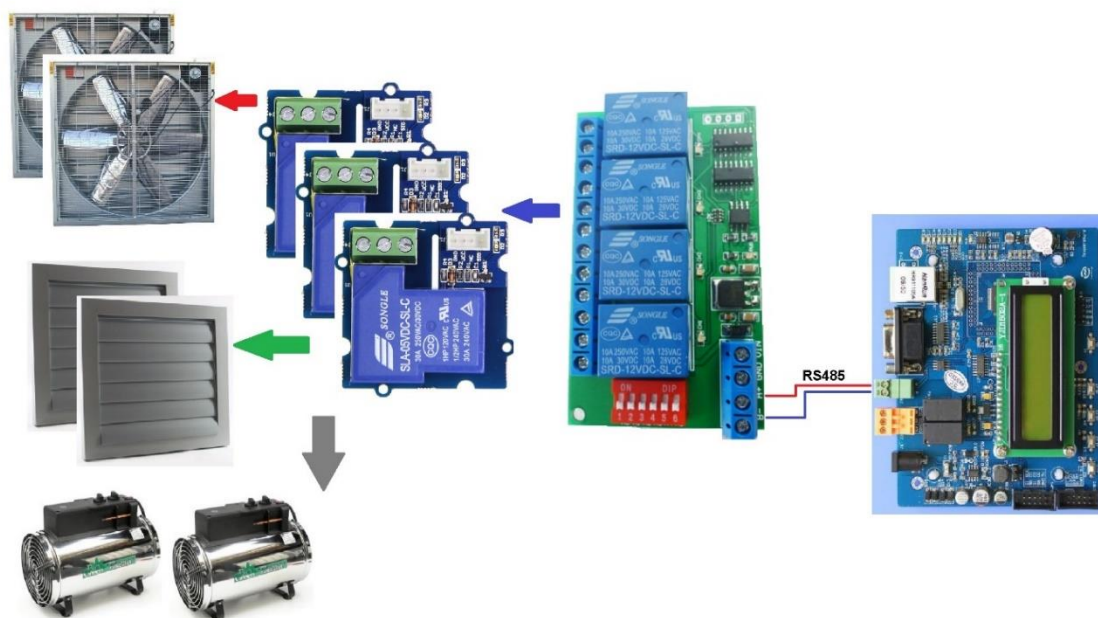
3.3. Систем за автоматизација и контрола

Без разлика какви методи на ладење или проветрување ќе користиме, системот за автоматизација и контрола ќе се состои од деловите прикажани како на слика 3.3.1 и слика 3.3.2.



Слика 3.3.1. Блок-шема за систем за автоматизација и контрола

Figure 3.3.1. Block scheme of system for automation and control



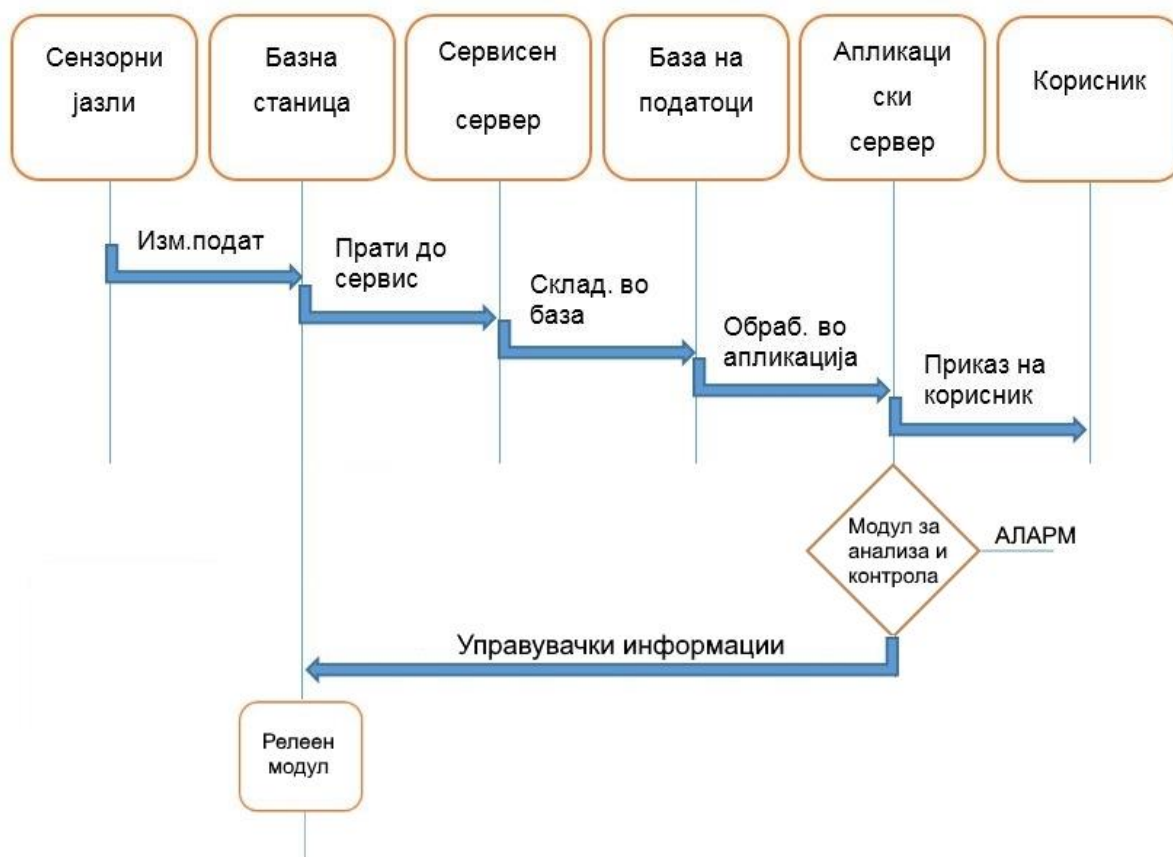
Слика 3.3.2. Компоненти на системот за контрола

Figure 3.3.2. Components of control system

Мерниот систем во нашиот случај освен што ќе дава податоци за внатрешната средина во пластеникот ќе претставува и повратен команден уред за регулација на системите за затоплување, влажност, вентилирање или разладување.

Управувачкиот модул е релејна плоча која се управува со RS485 серискиот протокол. Големината на оваа плоча зависи од бројот на уредите што сакаме да ги контролираме и мора да ги задоволува струјните потреби на потрошувачите.

На следната слика е дадена блок-шемата во кој дел од системот се донесува одлука за управување и во кој се извршува дадената управувачка информација.



Слика 3.3.3. Блок-шема на логика за управување

Figure 3.3.3. Management logic and block scheme

Апликацискиот сервер заедно со базната станица претставуваат главни елементи во управувањето на системите за контрола на параметрите на

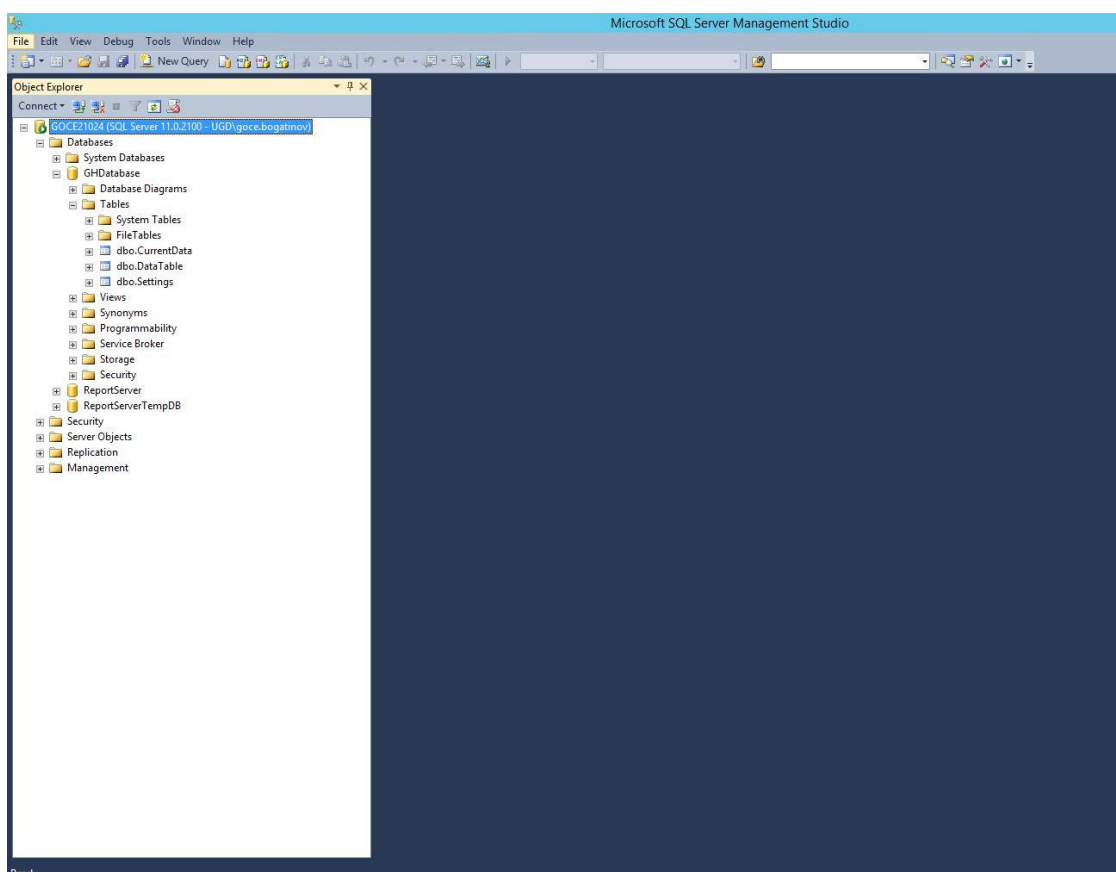
животната средина во пластениците. Врската помеѓу нив треба да е постојана и доколку ова не е задоволено управувачките команди нема да бидат успешни и веднаш треба да се постави аларм за интервенција од страна на човек.

4. Креирање на база на податоци

Базата на податоци претставува место каде што ќе се запишуваат податоците од надворешната и внатрешната средина, податоци за најава на корисници и податоци за контрола на системот. Податоците за надворешната средина ќе се складираат во посебна база којашто е приспособена за потребите на метеоролошката станица опишана претходно од овој труд.

MS SQL Express е солидно бесплатно решение за избор на релациона база која ги задоволува потребите на апликацискиот сервер и веб сервисите.

Оваа Express верзија поддржува алатка за графички менаџмент, бази со големина до 10 GB, еден процесор со повеќе јадра и RAM од 1 GB по подигната инстанца.



Слика 4.1. Графичка алатка за дизајн на SQL база

Figure 4.1. SQL database design graphical tool

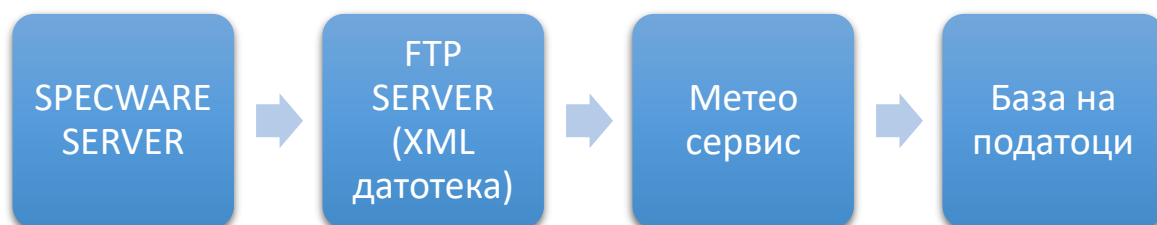


Слика 4.2. Бази на податоци и поврзаност со апликацискиот сервер

Figure 4.2. Database and app server connectivity diagram

Апликацискиот сервер ќе врши само читање на податоци од базата за надворешната средина, а во базата на податоци за внатрешната средина ќе ги чита и запишува потребните информации за мониторинг и контрола на пластеникот.

Базата за параметрите на надворешната средина е составена од една табела со структура како на слика 4.5. Таа се полни со посебен сервис кој ги чита податоците од датотека со XML структура (слика 4.4) на одредено време кое може да се менува по потреба. Оваа XML датотека се креира од софтверот кој ја чита надворешната метеоролошка станица и е инсталиран на SPECWARE серверот (слика 2.1.3.3).



Слика 4.3. Логички приказ на собирање на податоци од надворешна средина

Figure 4.3. Logical display of data collecting from external environment

```

<?xml version="1.0"?>
<!-- Spectrum Technologies, Inc. Weather
Station Monitor -->
<datalogger>
<LogTime>2016-05-12 09:30</LogTime>
<ModelNumber>2700</ModelNumber>
<Measure>M</Measure>
<BatteryLevel>80.00</BatteryLevel>
<TotalRainfall>0.00</TotalRainfall>
<EventRainfall>1.00</EventRainfall>
<StormRainFall>540.30</StormRainFall>
<Temperature>19.2</Temperature>
<HighTemp>19.4</HighTemp>
<HighTempTime>09:23</HighTempTime>
<LowTemp>12.9</LowTemp>
<LowTempTime>05:21</LowTempTime>
<RH>66</RH>
<HighRH>87</HighRH>
<HighRHTime>05:39</HighRHTime>
<LowRH>64</LowRH>
<LowRHTime>00:54</LowRHTime>
<DewPoint>12.8</DewPoint>
<WindSpeed>1</WindSpeed>
<WindGust>4</WindGust>
<WindDir>273</WindDir>
<WindDirText>W</WindDirText>
<ET></ET>
<ChannelAName>Temperature</ChannelAName>
<ChannelA></ChannelA>
<ChannelAUnits>*C</ChannelAUnits>
<ChannelBName>Leaf
Wetness</ChannelBName>
<ChannelB>0.0</ChannelB>
<ChannelBUnits>LW</ChannelBUnits>
</datalogger>

```

Слика 4.4. XML датотека

Figure 4.4. XML File



Слика 4.5. Табела за параметри на надворешната средина

Figure 4.5. External environment parameters database table

Прочитаните вредности, како на пример температура, влага и нивните максимални и минимални дневни вредности, графички се прикажуваат преку ASP веб-апликација, којашто може да биде покрената на истиот FTP сервер.

Оваа апликација нуди и можност за преглед на графикони за температура и влага од претходен период со помош на контролата за датум и време од десната страна.

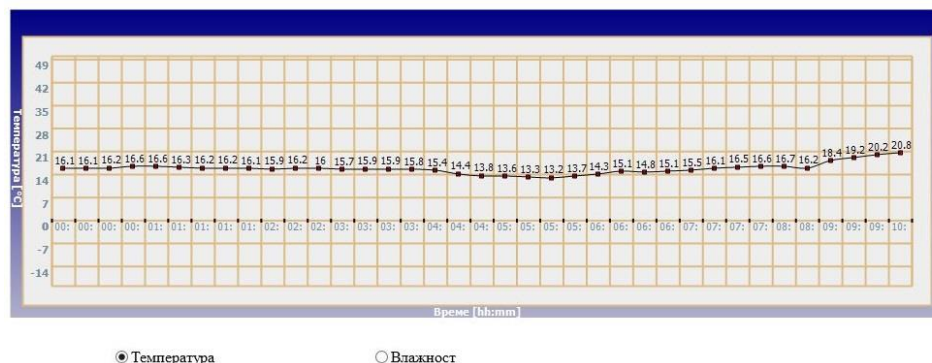


Моментални мерења од четврток, 12 мај 2016 г. во 10:00 часот

Температура = 20.8 °C
Влажност = 60 %
Температура на точка на роса = 12.7 °C
Последни регистрирани врнежи = 0.00 mm
Температура на почва = °C

Максимални/минимални вредности

Максимална температура 20.6 °C измерена во 09:45 часот
Минимална температура 12.9 °C измерена во 05:21 часот
Максимална влажност 87 % измерена во 05:39 часот
Минимална влажност 60 % измерена во 09:54 часот



мај 2016						
по	ат	ср	че	пе	са	не
25	26	27	28	29	30	1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31	1	2	3	4	5

од 00:00 до 00:00 h

Прикажи

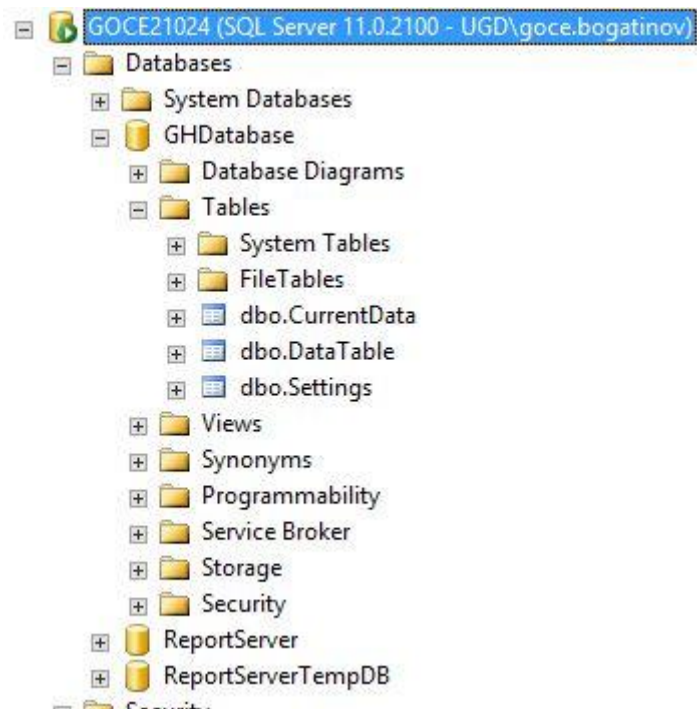
Слика 4.6. Веб-апликација за графички приказ

Figure 4.6. Meteo WEB application

Софтверот којшто работи на SPECWARE серверот има можности и да предвидува појава на болести и штетници во зависност од временските услови.

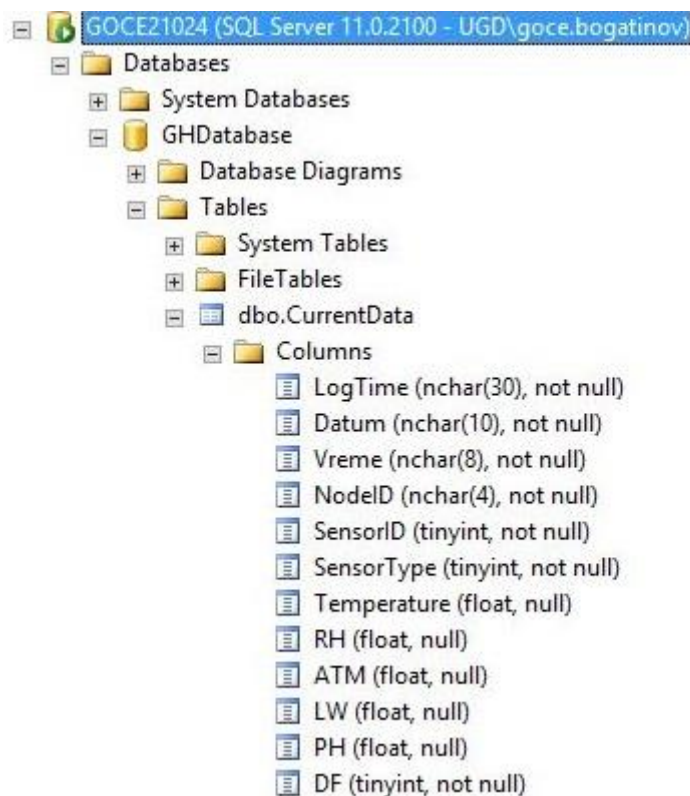
Обезбедува важни информации за одгледувачите и истражувачите преку интерфејс кој е лесен за користење. Може да прави анализа и преку увезување на податоци од други типови на датотеки, да врши брз и прегледен приказ преку графикони. Може да испраќа аларми преку мобилна мрежа и да информира за појава на мраз, врнежи и други временски услови. Може лесно да се приспособува, да креира важни извештаи и да нуди моќни алатки за лозарите, истражувачите и други корисници кои имаат потреба од најдобрите податоци во вистинско време.

Базата на податоци за внатрешните пластенички параметри е организирана во повеќе табели со различна намена.



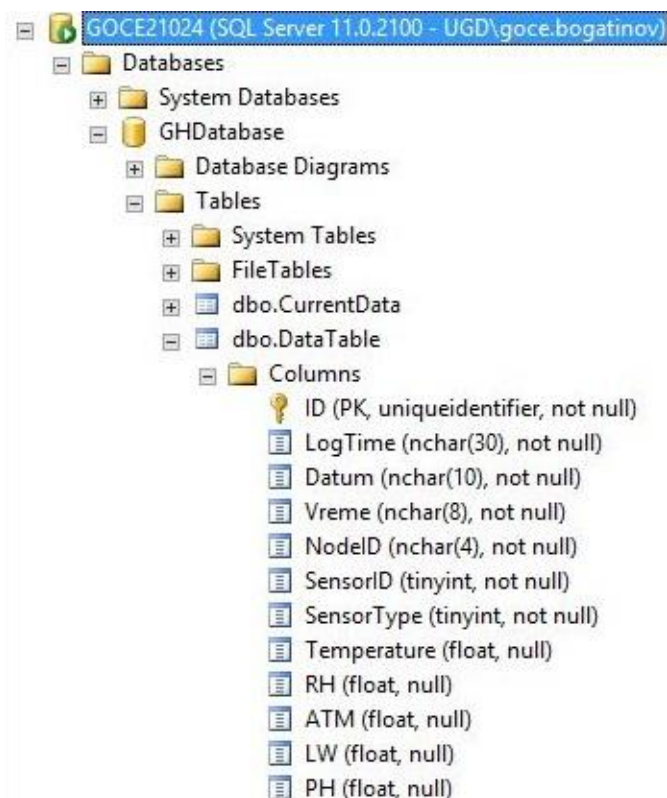
Слика 4.7. База на податоци со табели

Figure 4.7. Database tables



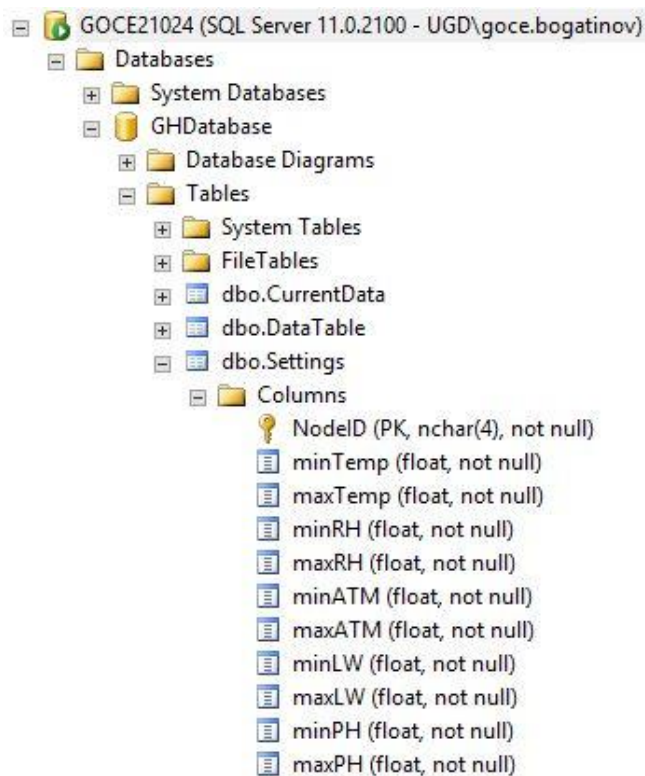
Слика 4.8. Табела за тековни вредности

Figure 4.8. Current data table



Слика 4.9. Табела за историја на податоци

Figure 4.9. History data table

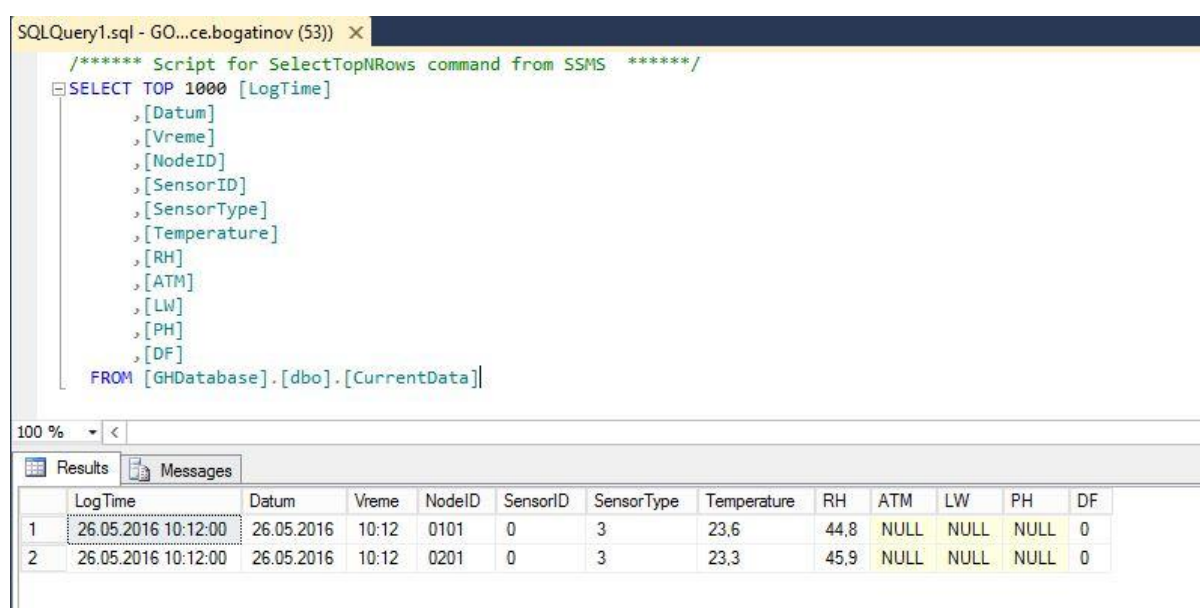


Слика 4.10. Табела за гранични вредности

Figure 4.10. Data limits table

Табелите се приспособени за потребите на овој проект и нивната структура е претставена на сликите од 4.7 до 4.10.

Прочитаните тековни вредности на средината од мерните јазли се запишуваат во табелата CurrentData, а една копија од истите оди во табелата на историја DataTable. Во табелата Settings се чуваат гранични вредности за реакција на системот. Овие гранични вредности дефинираат кога и како ќе се вклучуваат системите за ладење, греење, проветрување или влажнење на внатрешната средина.



```

/***** Script for SelectTopNRows command from SSMS *****/
SELECT TOP 1000 [LogTime]
    , [Datum]
    , [Vreme]
    , [NodeID]
    , [SensorID]
    , [SensorType]
    , [Temperature]
    , [RH]
    , [ATM]
    , [LW]
    , [PH]
    , [DF]
FROM [GHDatabase].[dbo].[CurrentData]

```

	LogTime	Datum	Vreme	NodeID	SensorID	SensorType	Temperature	RH	ATM	LW	PH	DF
1	26.05.2016 10:12:00	26.05.2016	10:12	0101	0	3	23,6	44,8	NULL	NULL	NULL	0
2	26.05.2016 10:12:00	26.05.2016	10:12	0201	0	3	23,3	45,9	NULL	NULL	NULL	0

Слика 4.11. Извадок од табела за тековни вредности

Figure 4.11. Excerpt from the table for current values

SQLQuery2.sql - GO...ce.bogatinov (54)) X

```

/***** Script for SelectTopNRows command from SSMS *****/
SELECT TOP 1000 [ID]
, [LogTime]
, [Datum]
, [Vreme]
, [NodeID]
, [SensorID]
, [SensorType]
, [Temperature]
, [RH]
, [ATM]
, [LW]
, [PH]
FROM [GHDatabase].[dbo].[DataTable]

```

100 %

Results Messages

	ID	LogTime	Datum	Vreme	NodeID	SensorID	SensorType	Temperature	RH	ATM	LW	PH
974	EFC78D0B-E7DD-4BB9-99AE-01AE5A42A3...	16.04.2016 22:11:00	16.04.2016	22:11	0101	0	3	25,3	33	NULL	NULL	NULL
975	3EFBE0E2-05C7-4DE3-888B-01AE862F445A	10.02.2016 14:18:00	10.02.2016	14:18	0201	0	3	25,4	38,2	NULL	NULL	NULL
976	0F7903EC-6F67-4EED-84AF-01AEA2C7B1A4	23.05.2016 08:58:00	23.05.2016	08:58	0101	0	3	22,5	48,2	NULL	NULL	NULL
977	1A8128A9-D7AD-467B-ACA9-01AEDB600308	21.09.2015 06:11:00	21.09.2015	06:11	0201	0	3	27,5	51	NULL	NULL	NULL
978	0D6CDB5F-DD0B-4B4F-B7DA-01AF5D4226...	20.09.2015 21:12:00	20.09.2015	21:12	0101	0	3	28,1	48,7	NULL	NULL	NULL
979	4B1B79F1-25BD-4E67-B435-01B020FB9712	14.02.2016 18:18:00	14.02.2016	18:18	0101	0	3	20,5	43,4	NULL	NULL	NULL
980	95D30FDE-D5A1-4223-97CF-01B0723E409E	09.02.2016 05:36:00	09.02.2016	05:36	0201	0	3	19	30,5	NULL	NULL	NULL
981	BB64392F-5FA2-405B-B7D6-01B0D602A40E	04.02.2016 00:49:00	04.02.2016	00:49	0201	0	3	22,2	37,2	NULL	NULL	NULL
982	B87863F6-A31B-4001-B8CB-01B1625E4309	24.09.2015 07:28:00	24.09.2015	07:28	0201	0	3	22,4	55,9	NULL	NULL	NULL
983	7C6861DF-8C3F-4E5D-A721-01B1F37D46E4	04.02.2016 07:25:00	04.02.2016	07:25	0101	0	3	22,5	35,4	NULL	NULL	NULL
984	9DCA7796-ABA0-405E-A9F3-01B22D170A37	24.09.2015 02:11:00	24.09.2015	02:11	0201	0	3	25,4	55,3	NULL	NULL	NULL
985	31E3DB6E-351B-4D84-BDFB-01B27949132A	10.02.2016 02:42:00	10.02.2016	02:42	0201	0	3	20,7	35,7	NULL	NULL	NULL

Слика 4.12. Извадок од табела за историски вредности

Figure 4.12. Excerpt from table for historical values

SQLQuery3.sql - GO...ce.bogatinov (53)) X

```

/***** Script for SelectTopNRows command from SSMS *****/
SELECT TOP 1000 [NodeID]
, [minTemp]
, [maxTemp]
, [minRH]
, [maxRH]
, [minATM]
, [maxATM]
, [minLW]
, [maxLW]
, [minPH]
, [maxPH]
FROM [GHDatabase].[dbo].[Settings]

```

100 %

Results Messages

	NodeID	minTemp	maxTemp	minRH	maxRH	minATM	maxATM	minLW	maxLW	minPH	maxPH
1	0101	15	50	50	70	0	100	0	100	0	100
2	0201	20	60	60	80	0	100	0	100	0	100

Слика 4.13. Извадок од табела за гранични вредности

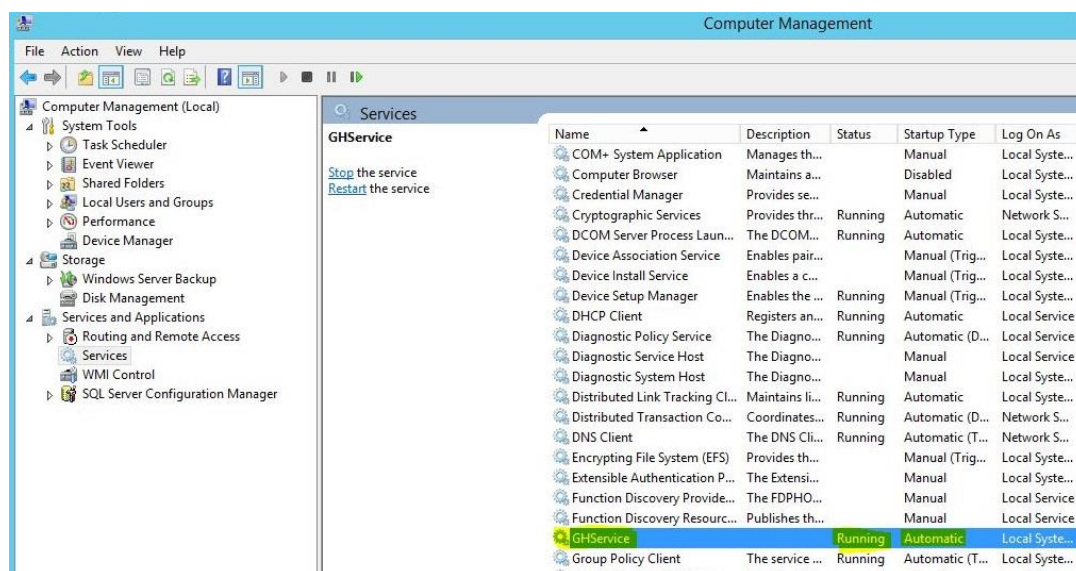
Figure 4.13. Excerpt from table for data limits

5. Дизајн и имплементација на апликативна логика

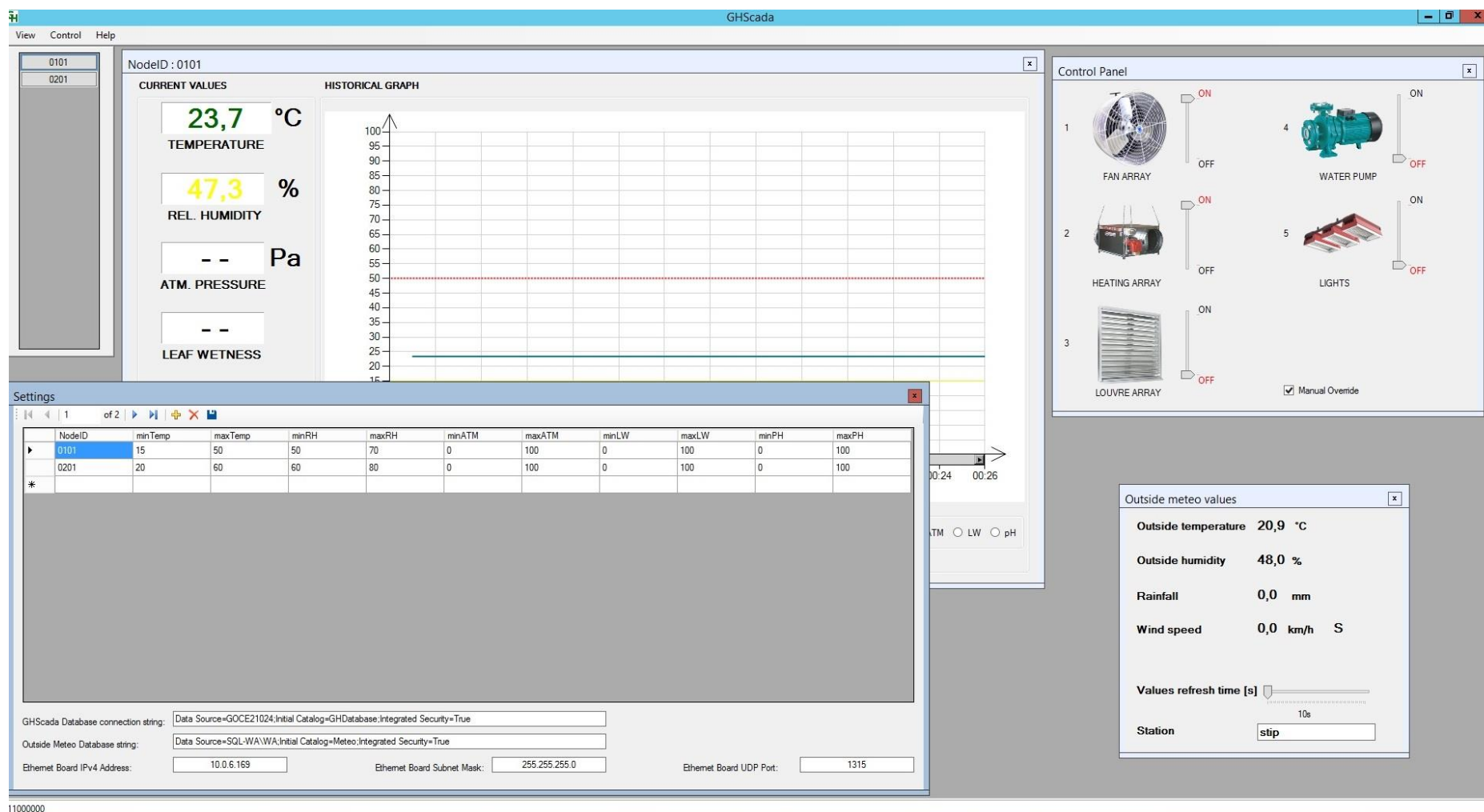
Следен чекор во комплетирањето на целиот мерен и управувачки систем е изборот на програмски јазик за дизајнирање и имплементација на апликативната логика. Визуелните јазици како visual basic .net кој е дел од пакетот visual studio на Мајкрософт е одличен избор за брз развој на апликации со можности кои ги задоволуваат нашите потреби за овој проект.

Апликативната логика е изработена во visual basic .net и се состои од следните делови:

- Автономен сервис, неговата улога е континуирано да собира податоци од базната станица и да ги запишува во базата на податоци.
Сервисот работи во позадина на оперативниот систем, неговото покренување е автоматско заедно со подигањето на оперативниот систем.
- Апликација која врши графички приказ на тековните и историските податоци од внатрешната пластеничка околина, приказ на надворешните метеоролошки отчитувања, логика за управување, приказ на состојбата на управуваниот систем за контрола на внатрешните услови и алармирање на корисничката група.

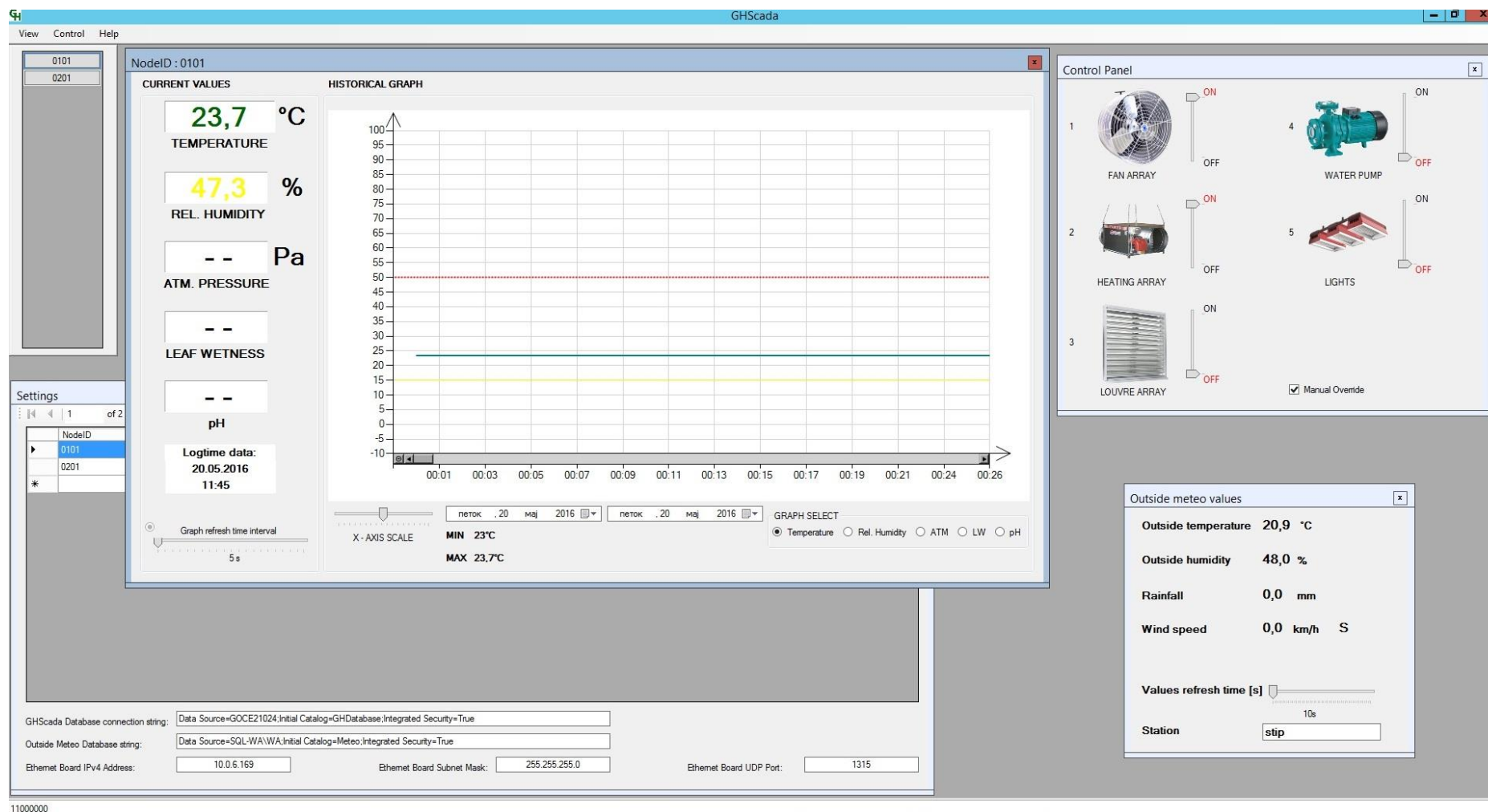


Слика 5.1. GHScada сервис
Figure 5.1. GHScada service



Слика 5.2. Интерфејс на апликација за мониторинг и контрола

Figure 5.2. Monitoring and control application interface



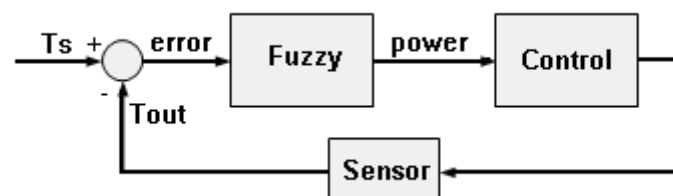
Слика 5.3. Интерфејс на апликација за мониторинг и контрола

Figure 5.3. Monitoring and control application interface

Модулот за контрола спомнат во претходното поглавје 3.3, кој е имплементиран во софтверот, користи пристап на управување со фази логика.

Наместо да го моделира проблемот математички, фази логиката како концепт работи со прости **IF (cond.) THEN command– BOOLEAN** правила за да го реши проблемот на управување. Оваа логика го имитира човековото однесување при донесување на одлуки.

Генерално еден систем со фази логика за еден параметар може да се претстави на следниот дијаграм.



Слика 5.4. Блок-шема на управување со фази логика

Figure 5.4. Fuzzy logic management block scheme

T_s - Влезна информација за барана вредност на параметар на околината;

T_{out} - Повратна информација од сензор кој го мери параметарот на околината.

$$\Delta T = \text{error} = T_s - T_{out}$$

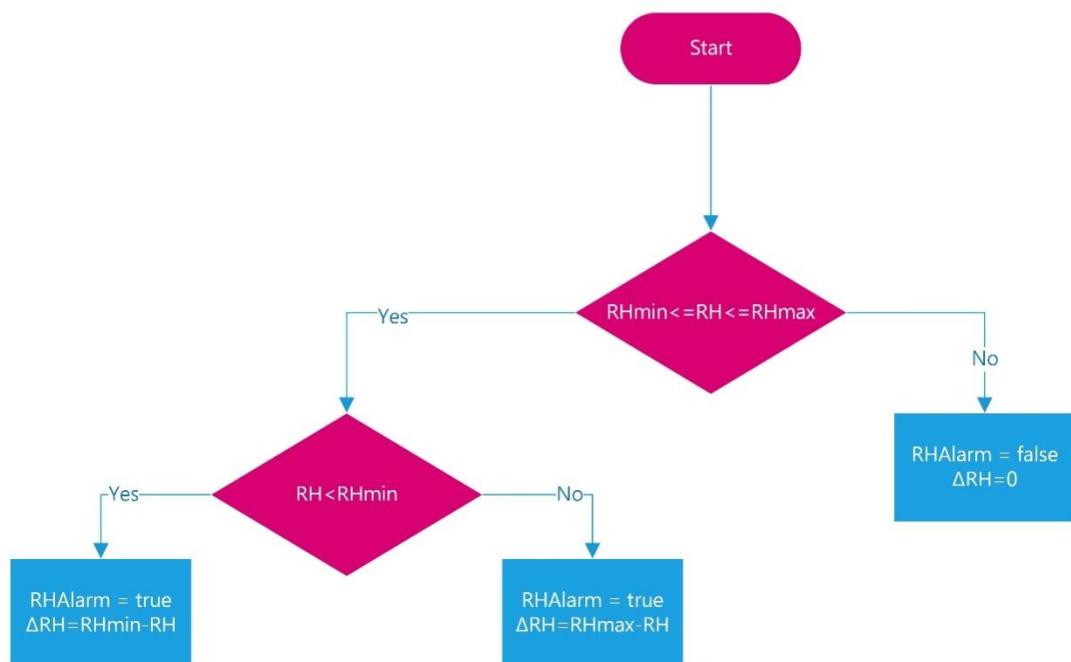
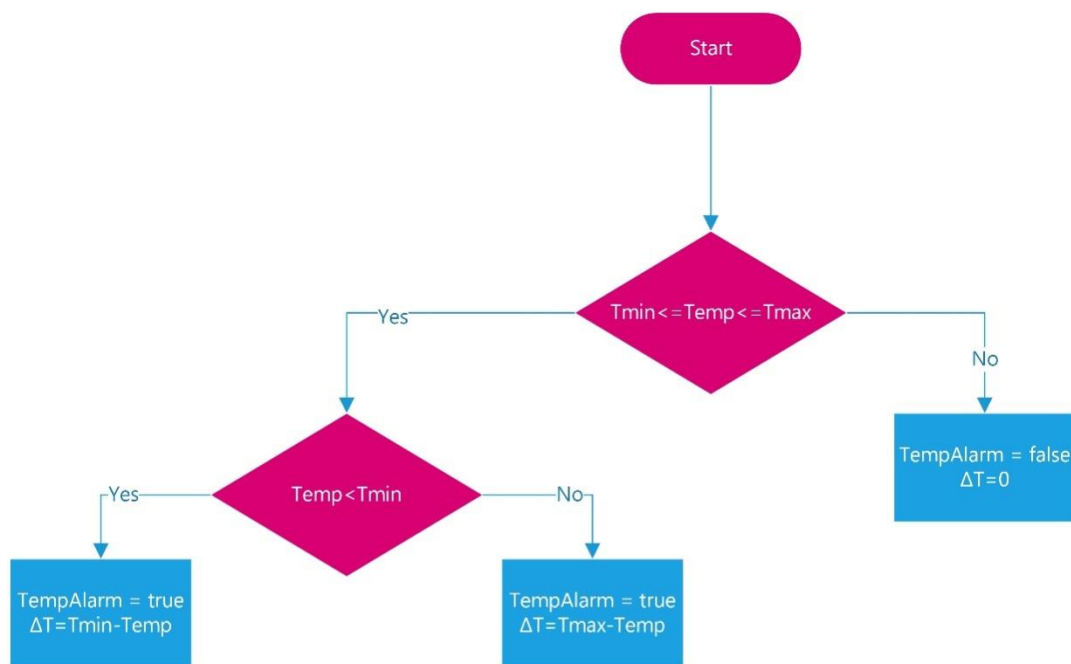
$$(\Delta T < T_{min}), (T_{min} \leq \Delta T \leq T_{max}), (T_{max} < \Delta T)$$

Во зависност од областа на припадност логиката ја одредува контролата.

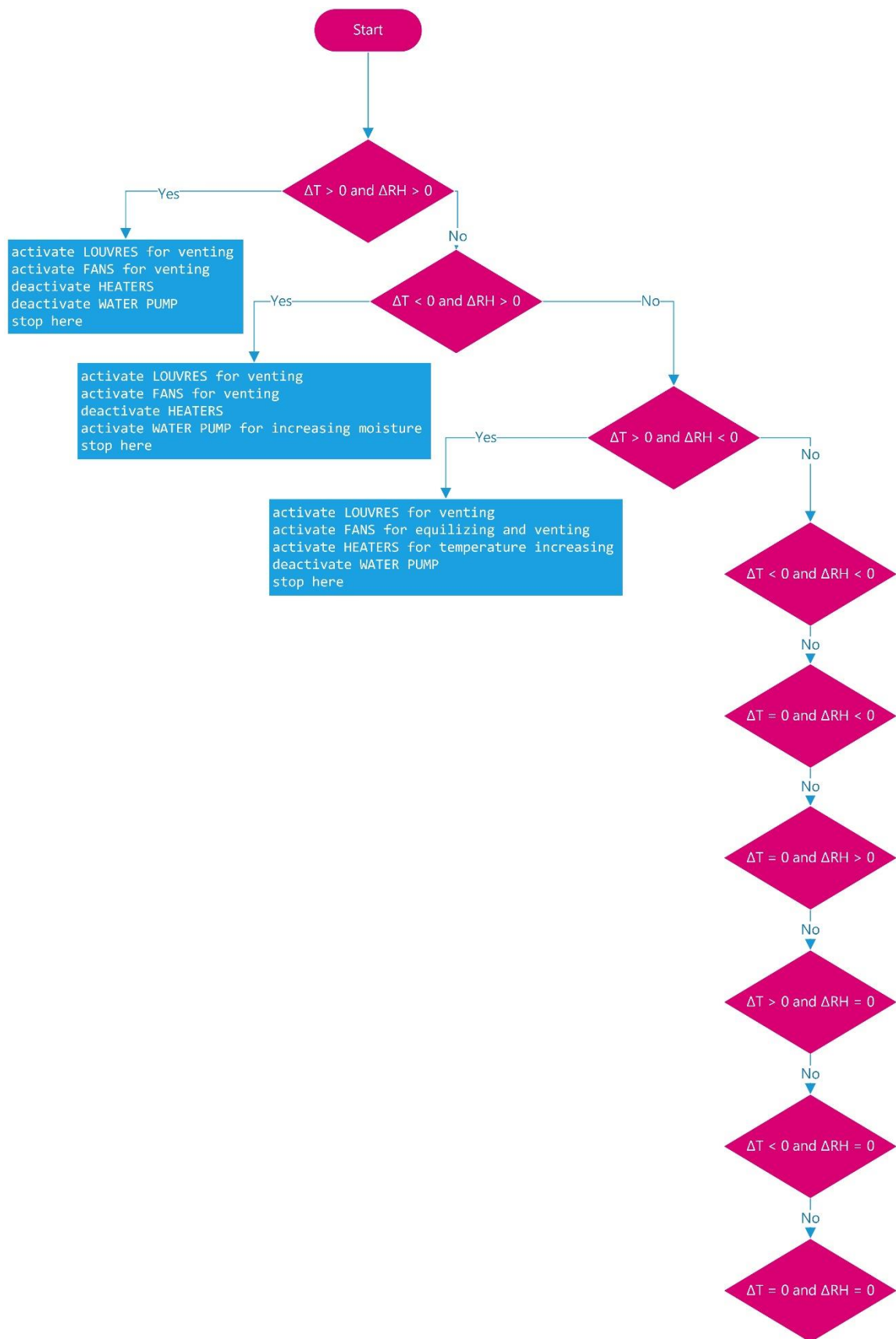
Во нашиот случај влезни повратни параметри ќе бидат измерените вредности на:

- внатрешната температура во пластеникот;
- надворешна температура на средината;
- внатрешна влажност во пластеникот;
- надворешна влажност на средината.

Бараните вредности што системот ќе се труди да ги постигне ќе бидат зададени однапред во базата на податоци.



Слика 5.5. Фази логика 1
Figure 5.5. Fuzzy logic 1



Слика 5.6. Фази логика 2

Figure 5.6. Fuzzy logic 2

6. Евалуација на системот

Системот е тестиран во стандардни лабораториски услови во период од неколку месеци. Уредите беа поставени на помало растојание за да се тестира нивната меѓусебна комуникација и следат грешките при безжичното праќање и прием на измерените податоци за температура и влага.

За да се изврши евалуација на измерените резултати заедно со мерните јазли е поставен и уред datalogger, кој ги мери истите параметри (температура и влажност на околината), како и јазлите.

Споредбата на резултатите од податочниот логер и нашите податоци од базата покажа дека средната вредност на отстапувањето на мерните вредности од јазлите доколку вредностите од дата логерот се земат како референтни се:

Јазол 1: температура 2%, релативна влажност 3%;

Јазол 2: температура 1%, релативна влажност 3%.

Отстапувањата на температурата и влагата се во границите на прифатливост и се пресметани по следната релација:

$$Err[\%] = \left| \frac{Measured - Ref}{Ref} \right| 100$$

Ref - референтна вредност (вредности од податочен логер);

Measured - измерена вредност (вредности од јазол).

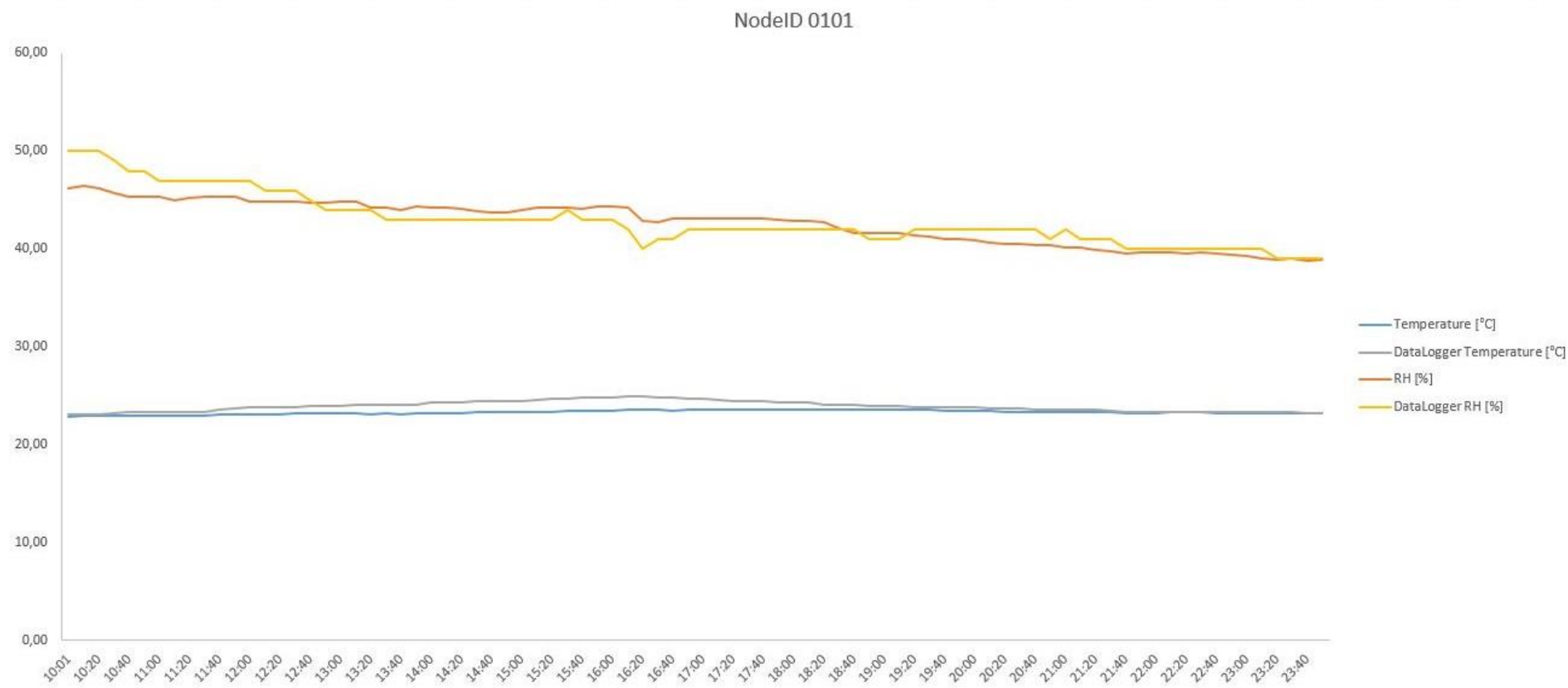
Спецификација на логер на податоци:

- меморија: максимум 16,320 отчитувања на температура и релативна влажност;
- интервал на логирање: од 60 секунди до 4 часа;
- мерен интервал на температура: од -40°C до 60°C;
- температурна прецизност: +/-1.0°C во интервал од 0 до 50°C;
- мерен интервал за релативна влажност: 10%-99%RH;
- прецизност за релативна влажност: +/-4% во интервал од 20% до 80%;
- компатибилност со оперативни системи: Windows 7/Windows 8;
- извештаи и историја на температура и релативна влажност.



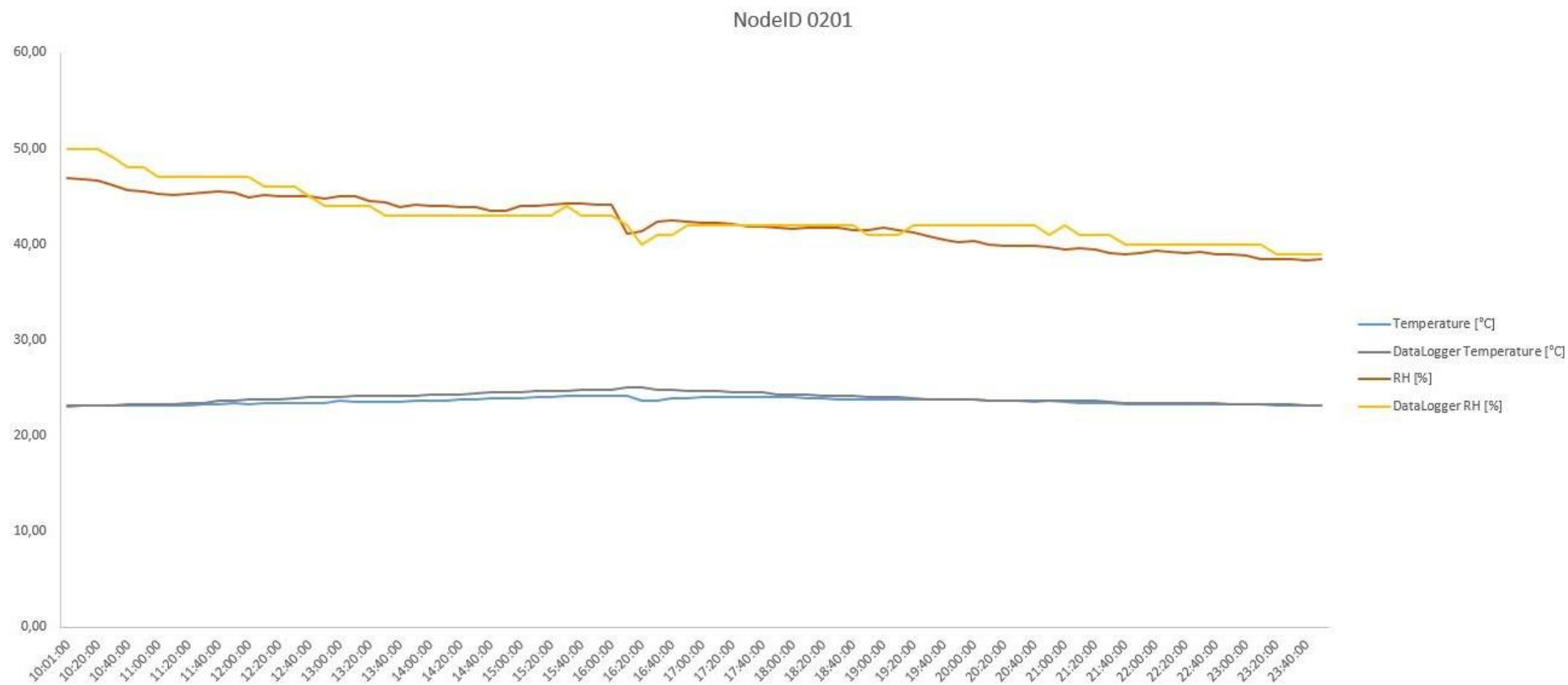
Слика 6.1. Логер на податоци

Figure 6.1. Data logger



Слика 6.2. Споредба на графикон логер на податоци и прв мерен јазол

Figure 6.2. Compare graph for data logger data and the first measurement node



Слика 6.3. Споредба на графикон логер на податоци и втор мерен јазол

Figure 6.3. Compare graph for data logger data and the second measurement node

7. Заклучок

Како што спомнавме на почетокот, иако постојат слични истражувања во врска со проблематиката на автоматизирано одгледување на култури во пластеници, сепак предложеното решение во овој труд се издвојува со својата уникатност најмногу преку единствениот начин на работа во софтверскиот дел на проектот.

Логиката на апликацискиот дел е единствена и приспособена за потребите на хардверот кои заедно се надополнуваат и сочинуваат целина.

Овој проект предлага еден континуиран систем за раст на култури и нуди управување и менаџмент на пластеници кои бараат прецизност во регулирањето на параметрите на животната средина. Предложениот систем е составен од повеќе слоеви со компоненти својствени за секој слој посебно со цел собирање на информации за мониторинг и управување на животната средина за раст и развој во рамките на разни пластенички системи. Не само што информациите се доставуваат до корисниците со различни методи, туку и далечинската рачна и автоматска контрола, исто така, ја подобрува удобноста и продуктивноста на корисниците. Врз основа на податоците добиени за животната средина за раст и развој, оперативниот систем преку оптимизирани методи може да создаде соодветна средина погодна за соодветната култура.

Поради тоа што овој систем еволуираше од идеја за истражување во земјоделска универзитетска животната средина, системот има непосредна примена и во областа на хортикултурно образование. Студентите можат да го користат системот во рамките на наставата за да се здобијат со информации со кои ќе решаваат практични проблеми. Студентите со свое учество како тестери можат да придонесат за подобрување на можностите на овој модуларен систем.

Подобрувањето на можностите може да се смета како иден развој и може да се насочи во проширување на сензорните јазли преку додавање на сензори за мерење на влажност на почва, сензори за мерење на влажност на лист, сензори за мерење на pH на почва, сензори за мерење на CO₂ и сл.

8. Референци

1. Ian, F.A.; Weilian, S.; Sankarasubramaniam, Y.; Cayirci, E. A survey on Sensor Networks. IEEE Commun. Mag. 2002, 40, 102-114.
2. Chong, C.-Y.; Kumar, S.P.; Hamilton, B.A. Sensor networks: Evolution, opportunities, and challenges. Proc. IEEE 2003, 91, 1247-1256.
3. Pyo, C.-S.; Chea, J.-S. Next-generation RFID/USN technology development prospects. Korea Inf. Commun. Soc. 2007, 24, 7-13.
4. Lee, M.-H.; Shin, C.-S.; Jo, Y.-Y.; Yoe, H. Implementation of greenhouse integrated management system in ubiquitous agricultural environments. J. KIISE 2009, 27, 21-26.
5. Shin, Y.-S. A Study on Informatization Model for Agriculture in Ubiquitous Era; MKE Research Report; National IT Industry Promotion Agency: Seoul, Korea, 2006.
6. Jeong, B.-M. Foreign u-Farm Service Model Casebook; Issues and Analysis Report of Korea National Information Society Agency, NCA V-RER-06005: Seoul, Korea, October 2006.
7. Kwon, O.-B.; Kim, J.-H. A Basic Direction for Building Agricultural Radio Frequency Identification Logistics Information System; Korea Rural Economics Institute: Seoul, Korea, December 2007.
8. RFID Journal;

Available online: <http://www.rfidjournal.com/article/articleview/2229/1/1/>
9. Korea Agricultural Trade Information (KATI). The State of Sweet Pepper Industry in Korea; Korea Agro-Fisheries Trade Corporation: Seoul, Korea, 2009.
10. Jeong, W.J.; Myoung, D.J.; Lee, J.-H. Comparison of climatic conditions of sweet pepper's greenhouse between Korea and The Netherlands. J. Bio-Environ. Contr. Korea 2009, 18, 244-252.
11. Serodio, C.; Monteiro, J.L.; Couto, C.A. Integrated network for agricultural management applications. In Proceedings of the 1998 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Pretoria, South Africa, 7–10 July 1998; Volume 2, pp. 679-683.

12. Serodio, C.; Cunha, J.B.; Morais, R.; Couto, C.A.; Monteiro, J.L. A networked platform for agricultural management systems. In *Computers and Electronics in Agriculture*; Elsevier: Maryland Heights, MO, USA, 2001; Volume 31, pp. 75-90.
13. Morais, R.; Cunha, J.B.; Cordeiro, M.; Serodio, C.; Salgado, P.; Couto, C. Solar data acquisition wireless network for agricultural applications. In *Proceedings of the 19th IEEE Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel, Jerusalem, Israeli*, 5–6 November 1996; pp. 527-530.
14. Liu, G.; Ying, Y. Application of Bluetooth technology in greenhouse environment, monitor and control. *J. Zhejiang Univ. Agric. Life Sci.* 2003, 29, 329-334.
15. Mizunuma, M.; Katoh, T.; Hata, S. Applying IT to farm fields—a wireless LAN. *NTT Tech. Rev.* 2003, 1, 56-60.
16. Mancuso, M.; Bustaffa, F. A wireless sensors network for monitoring environmental variable in a tomato greenhouse. In *Proceedings of 6th IEEE International Workshop on Factory Communication Systems in Torino, Torino, Italy*, 28–30 June 2006.
17. Yoo, S.; Kim, J.; Kim, T.; Ahn, S.; Sung, J.; Kim, D. A2S: Automated agriculture system based on WSN. In *Proceedings of ISCE 2007, IEEE International Symposium on Consumer Electronics, Irving, TX, USA*, 20–23 June 2007.
18. Hwang, J.H.; Shin, C.S.; Yoe, H. Study on an agricultural environment monitoring server system using wireless sensor networks. *Sensors* 2010, 10, 11189-11211.
19. Lea-Cox, J.D.; Kantor, G.; Anhalt, J.; Ristvey, A.; Ross, D.S. A wireless sensor network for the nursery and greenhouse industry. In *Proceedings of Southern Nursery Association Research Conference, College Station, TX, USA*, December 2007; Volume 52.
20. Liu, H.; Meng, Z.; Cui, S. A wireless sensor network prototype for environmental monitoring in greenhouses. In *Proceedings of the International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCom 2007)*, Shanghai, China, 21–25 September 2007.
21. Zhou, Y.M.; Yang, X.L.; Guo, X.S.; Zhou, M.G.; Wang, L.R. A design of greenhouse monitoring & control system based on ZigBee Wireless Sensor Network.

In Proceedings of the International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCom 2007), Shanghai, China, 21–25 September 2007.

22. Yang, I.-C.; Chen, S.; Huang, Y.-I.; Hsieh, K.-W.; Chen, C.-T.; Lu, H.-C.; Chang, C.-L.; Lin, H.-M.; Chen, Y.-L.; Chen, C.-C.; Lo, Y.M. RFID-integrated multi-functional remote sensing system for seedling production management. In Proceedings of 2008 ASABE Annual International Meeting, Providence, RI, USA, 29 June–2 July 2008.

23. Wang, C.; Zhao, C.J.; Qiao, X.J.; Zhang, X.; Zhang, Y.H. The design of wireless sensor networks node for measuring the greenhouse's environment parameters. *Comput. Technol. Agric.* 2008, 259, 1037-1046.

24. Park, D.-H.; Kang, B.-J.; Cho, K.-R.; Shin, C.-S.; Cho, S.-E.; Park, J.-W.; Yang, W.-M. A study on greenhouse automatic control system based on wireless sensor network. *Wireless Pers. Commun.* 2009, doi: 10.1007/s11277-009-9881-2.

25. SHT71 Humidity & Temperature Sensor; Available online: <http://www.alldatasheet.com>

26. <http://extension.uga.edu/publications/>; GREENHOUSE Heating, Cooling and Ventilation Bulletin 792, November 2014

27. <http://www.silabs.com/Support%20Documents/TechnicalDocs/evolution-of-wireless-sensor-networks.pdf>; Silicon Labs, The Evolution of Wireless Sensor Networks

28. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.390.9940>; Sunchon National University, Korea - International Journal of Smart Home Vol.4, No.3, July, 2010

29. http://mro.massey.ac.nz/bitstream/handle/10179/3231/02_whole.pdf?sequence=1; Massey university, Automated Wireless Greenhouse Management System

30. <http://www.ijcsmc.com/docs/papers/December2013/V2I12201315.pdf>; University of Basrah, Basrah, Wireless Monitor and Control System for Greenhouse